



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR- TM141585

STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN STRUKTUR *LASER CARRIER* PADA MESIN *FIBER LASER CUTTING*

ACHMAD TARMIDZI TOHIR
NRP 2111 100 079

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

FINAL PROJECT - TM141585

**STUDY ABOUT STRENGTH AND STIFFNESS OF
LASER CARRIER STRUCTURE IN FIBER LASER
CUTTING MACHINE**

ACHMAD TARMIDZI TOHIR
NRP. 2111 100 079

Advisor Lecture
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

*Mechanical Engineering Department
Faculty of Industrial Technology
Surabaya Nopember Institute Of Technology
Surabaya 2016*



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM141585

STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN STRUKTUR *LASER CARRIER* PADA MESIN *FIBER LASER CUTTING*

ACHMAD TARMIDZI TOHIR
NRP. 2111 100 079

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN STRUKTUR *LASER CARRIER* PADA MESIN *FIBER LASER CUTTING*

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Desain
Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

ACHMAD TARMIDZI TOHIR

Nrp. 2111 100 079

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Ir. Agus Sigit Pramono., DEA, Ph.D. (Pembimbing)
2. Ir. Yusuf Kaelani, MSc.E. (Penguji I)
3. Alief Wikarta, ST, MSc.Eng., Ph.D. (Penguji II)
4. Ari Kurniawan Saputra, ST.MT. (Penguji III)

SURABAYA

Januari 2016

STUDI TENTANG KEKUATAN DAN KEKAKUAN STRUKTUR *LASER CARRIER* PADA MESIN *FIBER LASER CUTTING*

Nama Mahasiswa : Achmad Tarmidzi Tohir
NRP : 2111100079
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

Abstrak

Dalam dunia industri terutama dalam industri manufaktur banyak perkembangan teknologi yang mendukung proses pengerjaan yang lebih baik. Untuk mencapai produktifitas yang tinggi dan keakurasian hasil yang tinggi, maka dibutuhkan mesin yang handal. Di Negara yang sudah beranjak maju, perkembangan teknologi sudah berkembang pesat, salah satu teknologinya adalah mesin CNC *Fiber Laser Cutting Machine* di China, teknologi tersebut sudah berkembang. Dan Indonesia kini sedang mengembangkan teknologi ini. Oleh karena itu tugas akhir ini bertujuan untuk mengembangkan teknologi mesin CNC *Fiber Laser Cutting Machine*. Pada tugas akhir ini, akan membahas tentang *Laser carrier* atau *crane laser box* dimana tujuannya adalah untuk mencari nilai deformasi maksimal kearah horizontal, kekuatan dari crane laser box ketika menerima beban statis, pengereman, dan beban percepatan. Serta mengevaluasi kemampuan *laser carrier* dalam menerima pembebanan statis, pengereman dan pembebanan percepatan menggunakan ANSYS *static structural*. Tujuan tersebut diambil dikarenakan belum adanya referensi yang menyatakan keakurasian atau nilai defleksi dari *laser carrier* ketika bekerja.

Dalam tugas akhir ini didahului dengan Studi literatur pada berbagai sumber dan pengumpulan data teknis *Fiber laser cutting*. Selanjutnya adalah proses desain dari struktur *laser carrier* dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 3D*.

Laser carrier tersebut akan dibebani dengan beban vertical yang meliputi beban laser carrier dan laser box, beban akibat akselerasi, dan pengereman. Perhitungan ini memiliki variasi kecepatan yaitu dari 0 sampai 72 m/menit dengan interval 10 m/menit. Pada simulasi ini digunakan simulasi static structural, dimana tumpuan telah ditentukan dan posisi beban sudah diatur pada posisi masing – masing. Titik – titik analisa atau yang disebut dengan Probe telah ditentukan, dengan jumlah 3 buah. Hasil simulasi tersebut dinyatakan berhasil jika setiap perubahan kecepatan mendapatkan hasil defleksi dibawah dari parameter yang telah ditentukan.

Dari tugas akhir ini, didapat tingkat keakurasian tertinggi dicapai pada perlambatan $0,01 \text{ m/s}^2$ dengan defleksi sebesar - 7,5267 μm . tingkat keakurasian terendah dicapai pada perlambatan $0,58 \text{ m/s}^2$ dengan defleksi sebesar 6,2127 μm . Nilai von mises tertinggi dicapai pada percepatan $0,58 \text{ m/s}^2$ dengan nilai sebesar 0,4376 Mpa.

Kata kunci : Mesin CNC, *Fiber Laser Cutting*, kekuatan, Kekakuan, Defleksi Maksimum, Simulasi Ansys.

STUDY ABOUT STRENGTH AND STIFFNESS OF LASER CARRIER STRUCTURE IN FIBER LASER CUTTING MACHINE

Student Name : Achmad Tarmidzi Tohir
NRP : 2111100079
Department : Teknik Mesin FTI-ITS
Lecturer : Dr. Ir. Agus Sigit Pramono. DEA

Abstract

In the world of industry, especially in the manufacturing industry many development of technology that support the process more better. To achieve high productivity and accuracy, need a reliable engine. In a country that has moved forward, the development of technology has developed rapidly, one of the technology is a CNC machine Fiber Laser Cutting Machine in China, the technology has been developed. Currently, Indonesia is developing this technology. Therefore, this thesis aims to develop technology CNC machine Fiber Laser Cutting Machine. In this final project, will discuss about Laser carrier and crane laser box where the goal is to find the maximum value of the deformation of the horizontal direction, the power of the crane laser box when receiving a static load, braking and acceleration loads. And to evaluate the ability of the laser carrier in receiving static loading, braking and acceleration loading using ANSYS static structural. The goal was taken because of there's no reference yet about accuracy or the value of the laser carrier deflection when working.

In this final project was started by a study of literature on various sources and collect some technical data of Fiber laser cutting. Next is the design of the structure of the laser carrier by using Autodesk Inventor 3D software. Laser carrier will be loaded with the vertical load that include laser carrier load and laser box, the load due to acceleration and braking. This

calculation has the speed variation is from 0 to 72 m / min with intervals of 10 m / min. This simulation used of static structural simulation, where the foundation has been determined and the position of the load is set at the determined position. The points of the analysis that called probe has determined, with the amount of 3 pieces. The simulation results declared successful if every single change of the speed get the deflection's result below from the determined parameters.

This final project, obtained the highest level of accuracy is achieved in the deceleration of $0.01 \text{ m} / \text{s}^2$ with a deflection of $7.5267 \text{ }\mu\text{m}$. The level of accuracy achieved at the lowest possible deceleration of $0.58 \text{ m} / \text{s}^2$ with a deflection of $6.2127 \text{ }\mu\text{m}$. Von mises achieved the highest value in the acceleration of $0.58 \text{ m} / \text{s}^2$ with a value of 0.4376 MPa .

Keywords: CNC Machine, Fiber Laser Cutting, strength, stiffness, maximum deflection, Ansys Simulation.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga Tugas Akhir yang saya kerjakan ini dapat saya selesaikan dengan baik.

Laporan Tugas Akhir ini saya susun sesuai dengan bidang studi saya yaitu Desain (Mekanika Benda Padat) dengan judul studi tentang kekuatan dan kekakuan struktur *laser carrier* pada mesin *fiber laser cutting*. Saya juga tidak lupa mengucapkan terima kasih kepada :

1. Ir. Bambang Pramujati, M.Eng,Sc,PhD., selaku Kepala Jurusan Teknik Mesin FTI ITS
2. Dr.Ir.Agus Sigit Pramono,DEA, selaku dosen pembimbing Tugas Akhir
3. Nur Ikhwan, ST., M.Eng., selaku dosen wali
4. **Ir. Yusuf Kaelani, M.Sc.E.**, selaku dosen penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
5. Alief Wikarta, S.T., M.Sc., Phd., selaku dosen penguji Seminar dan sidang Tugas Akhir.
6. Ari Kurniawan Saputra, ST.MT., selaku dosen penguji Seminar dan Sidang Tugas Akhir.
7. **Arif Wahyudi, ST., MT., Ph.D.**, selaku Kasie Proposal dan Tugas Akhir
8. Kedua orang tua penulis yang senantiasa memberikan motivasi dan memberi dukungan penuh selama umur hidup penulis.
9. Segenap mahasiswa ITS yang telah memberikan dukungan, motivasi dan pembelajaran selama kuliah di Teknik Mesin ITS.
10. Segenap Dosen dan Karyawan ITS yang telah mendidik dengan sepuh hati.
11. Pemerintah melalui Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi (Ditjen Dikti) atas beasiswa kuliah 4 tahun.

12. Semua pihak yang telah membantu atas terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.

Tugas Akhir ini merupakan salah satu mata kuliah wajib yang harus ditempuh oleh mahasiswa Teknik Mesin FTI-ITS agar memenuhi syarat kelulusan. Kami menyadari laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saya mengharapkan kritik dan saran demi kesempurnaan laporan Tugas Akhir saya. Semoga laporan Tugas Akhir yang saya buat dapat bermanfaat.

Surabaya, 26 Januari 2016

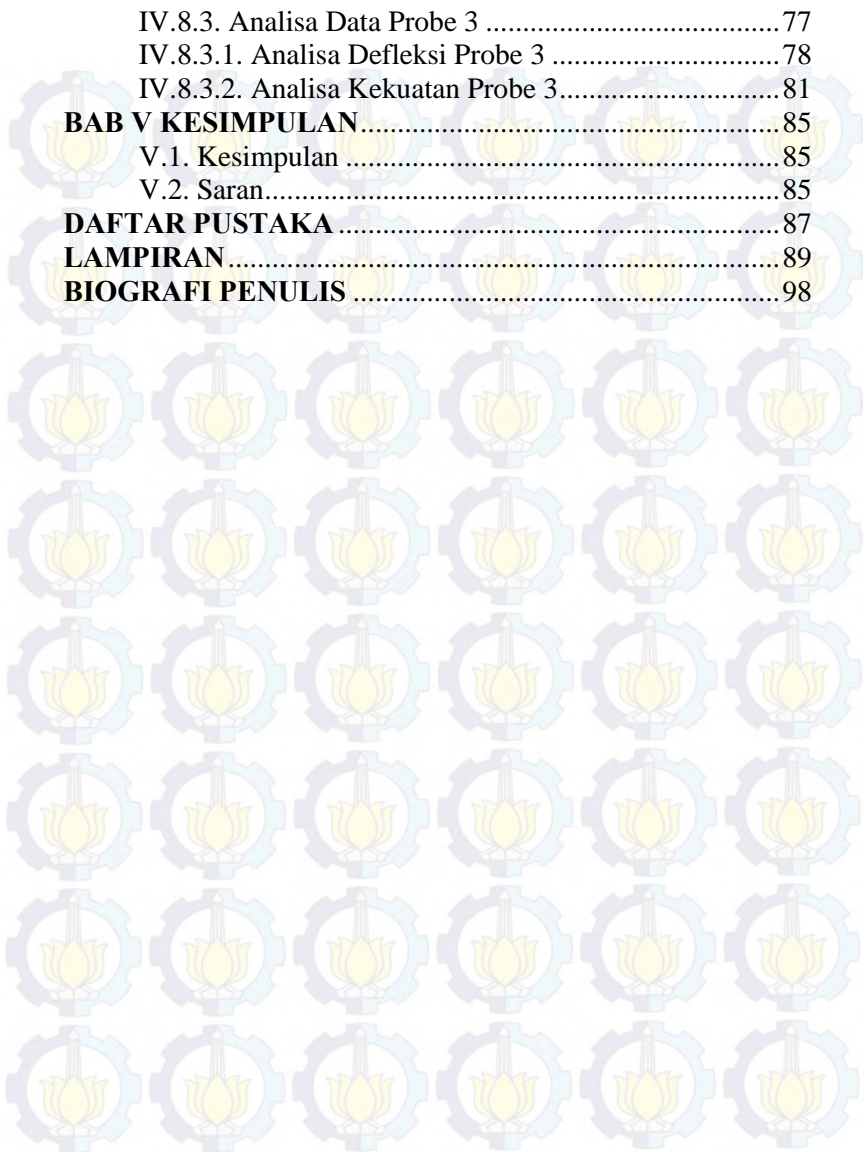
Penyusun

DAFTAR ISI

Halaman Pengesahan	v
Abstrak	vii
Abstract	ix
Kata Pengantar	xi
Daftar Isi	xiii
Daftar Gambar	xvi
Daftar Tabel	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
I.1. Latar Belakang	1
I.2. Rumusan Masalah	4
I.3. Batasan Masalah	4
I.4. Tujuan Penelitian	5
I.5. Manfaat Penelitian	5
I.5.1. Manfaat Khusus	5
I.5.2. Manfaat Umum	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
II.1. Perkembangan Teknologi <i>Cutting Machine</i>	7
II.1.1. Mesin Manual	8
II.1.2. Mesin <i>Gullotine</i>	8
II.1.3. Mesin Potong Hidrolis	11
II.1.4. <i>Laser Beam Machine</i>	11
II.1.4.1. <i>CO₂ Laser</i>	12
II.1.4.2. <i>Fiber Laser</i>	13
II.1.4.3. <i>YAG Laser</i>	14
II.2. Teori Kegagalan	15
II.3. Teori Defleksi	18
II.4. <i>Finite Elemen Analysis</i> (FEA)	20
II.4.1. Elemen Satu Dimensi	22
II.4.2. Elemen Dua Dimensi	23
II.4.3. Elemen Tiga Dimensi	23
II.5. Teori gerak Lurus Berubah Beraturan	24
II.6. Hukum Newton	25
II.6.1. Hukum Newton I	25
II.6.2. Hukum Newton II	26

II.7. Studi Literatur.....	26
BAB III METODOLOGI PERCOBAAN	31
III.1. Diagram Alir Pengujian	31
III.2. Proses Desain	32
III.3. Perhitungan Beban	34
III.3.1. <i>Center of Gravity</i>	34
III.3.2. Beban Statis Vertikal.....	36
III.3.3. Beban Akibat Akselerasi.....	36
III.3.4. Beban Akibat Pengereman	38
III.4. Parameter Analisa Statis dan Quasistatis	39
III.5. Simulasi.....	41
III.5.1. Meshing.....	42
III.5.2. Boundary Condition	42
III.5.3. Simulasi.....	43
III.6. Desain Eksperimen	43
III.6.1. Pembebanan Akibat Gaya Akselerasi	43
III.6.2. Pembebanan Akibat Gaya Pengereman	44
BAB IV HASIL DAN ANALISA	45
IV.1. Desain Laser carrier dan Laser Box	45
IV.2. Center of Gravity (CG) Laser carrier dan Laser Box	47
IV.3. Beban Statis vertikal	48
IV.4. Beban Akibat Percepatan.....	50
IV.5. Beban Akibat perlambatan.....	52
IV.6. Boundary Condition.....	54
IV.6.1. Penentuan Tumpuan.....	55
IV.6.2. Penentuan Titik Analisa (PROBE)	55
IV.7. Data Hasil Simulasi	57
IV.8. Analisa Data.....	60
IV.8.1. Analisa Data Probe 1	61
IV.8.1.1. Analisa Defleksi Probe 1	62
IV.8.1.2. Analisa Kekuatan Probe 1.....	66
IV.8.2. Analisa Data Probe 2	70
IV.8.2.1. Analisa Defleksi Probe 2	70
IV.8.2.2. Analisa Kekuatan Probe 2.....	74

IV.8.3. Analisa Data Probe 3	77
IV.8.3.1. Analisa Defleksi Probe 3	78
IV.8.3.2. Analisa Kekuatan Probe 3.....	81
BAB V KESIMPULAN	85
V.1. Kesimpulan	85
V.2. Saran.....	85
DAFTAR PUSTAKA	87
LAMPIRAN	89
BIOGRAFI PENULIS	98



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Proses pemotongan gunting tangan ^[1]	8
Gambar 2.2 Gunting tangan lurus ^[1]	8
Gambar 2.3 Gunting tangan lingkaran ^[1]	9
Gambar 2.4 Gunting tangan kombinasi ^[1]	9
Gambar 2.5 Bagian-bagian gunting tuas ^[1]	9
Gambar 2.6 Mesin <i>gullotine</i> manual ^[1]	10
Gambar 2.7 Mesin <i>guillotine</i> hidrolik ^[1]	10
Gambar 2.8 Mesin potong hidrolik ^[1]	11
Gambar 2.9 Huruf “E” yang dibuat dengan LBM ^[5]	12
Gambar 2.10 Skema <i>CO2 laser</i> ^[14]	13
Gambar 2.11 Skema <i>fiber laser</i> ^[5]	14
Gambar 2.12 Tegangan normal tarik pada silinder ^[11]	16
Gambar 2.13 Tegangan normal tekan pada silinder ^[11]	16
Gambar 2.14 Tensor tegangan tiga dimensi ^[11]	17
Gambar 2.15 Defleksi pada Beam	18
Gambar 2.16 Momen dan gaya yang bekerja pada beam	19
Gambar 2.17 <i>Free body diagram</i> batang ^[12]	21
Gambar 2.18 Elemen 1 dimensi, a. Kubik b. Kuadratik c. Linier ^[12]	23
Gambar 2.19 Elemen 2 dimensi segitiga dan segiempat ^[12]	23
Gambar 2.20 Elemen 3 dimensi <i>tetrahedron</i> dan balok ^[12]	24
Gambar 2.21 Elemen <i>tetrahedron</i> ^[11]	24
Gambar 2.22 <i>Cutting speed</i> maksimal dan detail kecepatan makan pada plat 6-10 mm ^[13]	29
Gambar 2.23 Area celah pemotongan dan <i>efisiensi thermal</i> pada <i>fiber</i> dan <i>co2 laser</i> ^[13]	29
Gambar 2.24 Kekasaran rata-rata dari hasil pemotongan <i>fiber</i> dan <i>co2 laser</i> ^[13]	29
Gambar 3.1 Diagram alir	31
Gambar 3.2 Mesin CNC Mars-JLM3015	33
Gambar 3.3 Struktur dasar <i>crane laser box</i>	33
Gambar 3.4 Desain struktur <i>crane laser box</i>	34
Gambar 3.5 <i>Center of Gravity</i> struktur <i>laser carrier</i>	35
Gambar 3.6 <i>Center of Gravity</i> struktur <i>laser box</i>	35

Gambar 3.7 Pembebanan vertikal oleh gaya berat.....	36
Gambar 3.8 <i>Free body diagram</i> struktur crane.....	37
Gambar 3.9 <i>Free body diagram</i> struktur crane.....	38
Gambar 3.10 <i>Free body diagram</i> koin pada analisa Quasistatik.....	40
Gambar 3.11 Meshing pada <i>software static</i> structural.....	42
Gambar 4.1 Desain final struktur <i>laser carrier</i>	45
Gambar 4.2 Desain pemodelan <i>Laser box</i>	46
Gambar 4.3 Desain pemodelan <i>Laser carrier</i> dan <i>Laser box</i>	46
Gambar 4.4 Posisi (0,0,0) dari <i>laser carrier</i> dan <i>laser box</i>	47
Gambar 4.5 <i>Center of gravity Laser Carrier</i>	47
Gambar 4.6 <i>Center of gravity Laser box</i>	48
Gambar 4.7 Pembebanan <i>laser carrier</i> pada <i>software ANSYS</i>	49
Gambar 4.8 Pembebanan <i>laser box</i> pada <i>software ANSYS</i> ..	50
Gambar 4.9 Tumpuan <i>Laser carrier</i> pada <i>software ANSYS</i> ..	55
Gambar 4.10 Posisi <i>probe 1</i>	56
Gambar 4.11 Posisi <i>probe 2</i>	56
Gambar 4.12 Posisi <i>probe 3</i>	57
Gambar 4.13 Grafik defleksi hasil simulasi pada <i>Probe 1</i> saat mengalami percepatan.....	63
Gambar 4.14 Defleksi pada <i>laser carrier</i> ketika dibebani beban vertical	64
Gambar 4.15 Data defleksi hasil simulasi pada <i>Probe 1</i> saat mengalami perlambatan	65
Gambar 4.16 Grafik von mises hasil simulasi pada <i>Probe 1</i> saat mengalami percepatan.....	67
Gambar 4.17 a. Elemen terkecil <i>probe 1</i> saat dibebani gaya berat, b. Elemen terkecil <i>probe 1</i> saat dibebani gaya inersia percepatan 0.01 m/s^2 , c. Elemen terkecil <i>probe 1</i> saat dibebani gaya gabungan percepatan 0.01 m/s^2	68
Gambar 4.18 Grafik von mises hasil simulasi pada <i>Probe 1</i> saat mengalami perlambatan	69

Gambar 4.19 Grafik defleksi hasil simulasi pada Probe 2 saat mengalami percepatan.....	71
Gambar 4.20 Grafik defleksi hasil simulasi pada Probe 2 saat mengalami perlambatan	73
Gambar 4.21 grafik von mises hasil simulasi pada Probe 2 saat mengalami percepatan.....	74
Gambar 4.22 grafik von mises hasil simulasi pada Probe 2 saat mengalami perlambatan	76
Gambar 4.23 a. Elemen terkecil <i>probe</i> 2 saat dibebani gaya berat, b. Elemen terkecil <i>probe</i> 2 saat dibebani gaya inersia pada perlambatan 0.01 m/s^2 , c. Elemen terkecil <i>probe</i> 2 saat dibebani gaya gabungan perlambatan 0.01 m/s^2	77
Gambar 4.24 Grafik defleksi hasil simulasi pada Probe 3 saat mengalami percepatan.....	79
Gambar 4.25 Grafik defleksi hasil simulasi pada Probe 3 saat mengalami perlambatan	80
gambar 4.26 Grafik von mises hasil simulasi pada Probe 3 saat mengalami percepatan.....	82
Gambar 4.27 Grafik von mises hasil simulasi pada Probe 3 saat mengalami perlambatan	83
Gambar 4.28 a. Elemen terkecil <i>probe</i> 3 saat dibebani gaya berat, b. Elemen terkecil <i>probe</i> 3 saat dibebani gaya inersia pada perlambatan 0.01 m/s^2 , c. Elemen terkecil <i>probe</i> 3 saat dibebani gaya gabungan perlambatan 0.01 m/s^2	84
Gambar 1 Gambar teknik laser carrier.....	89
Gambar 2 Gambar teknik bagian 1 laser carrier	90
Gambar 3 Gambar teknik bagian 2 penyangga laser carrier..	91

DAFTAR TABEL

Table 2.1 Perbandingan CO2 laser, YAG laser dan Fiber laser ^[6]	15
Table 2.2 Parameter Fiber laser dan CO2 laser ^[13]	28
Table 3.1 Tabel hasil simulasi akibat beban akselerasi	44
Table 3.2 Tabel hasil simulasi akibat beban pengereman	44
Tabel 4.1 Gaya inersia akibat percepatan	52
Tabel 4.2 Gaya inersia akibat perlambatan.....	54
Tabel 4.3 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami percepatan pada <i>Probe 1</i>	58
Tabel 4.4 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami perlambatan pada <i>Probe 1</i>	58
Tabel 4.5 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami percepatan pada <i>Probe 2</i>	59
Tabel 4.6 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami perlambatan pada <i>Probe 2</i>	59
Tabel 4.7 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami percepatan pada <i>Probe 3</i>	60
Tabel 4.8 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami perlambatan pada <i>Probe 3</i>	60
Tabel 4.9 Data hasil simulasi pada <i>Probe 1</i> saat mengalami percepatan.....	61
Tabel 4.10 Data hasil simulasi pada <i>Probe 1</i> saat mengalami perlambatan	62
Tabel 4.11 Data hasil simulasi pada <i>Probe 2</i> saat mengalami percepatan.....	70
Tabel 4.12 Data hasil simulasi pada <i>Probe 2</i> saat mengalami perlambatan	70
Tabel 4.13 Data hasil simulasi pada <i>Probe 3</i> saat mengalami percepatan.....	78
Tabel 4.14 Data hasil simulasi pada <i>Probe 3</i> saat mengalami perlambatan	78
Tabel 1 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami percepatan pada <i>Probe 1</i> tanpa beban vertikal	92
Tabel 2 Data hasil simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	

percepatan pada <i>Probe 1</i> dengan beban vertikal	92
Tabel 3 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Perlambatan pada <i>Probe 1</i> tanpa beban vertikal	93
Tabel 4 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Perlambatan pada <i>Probe 1</i> dengan beban vertikal	93
Tabel 5 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Percepatan pada <i>Probe 2</i> tanpa beban vertikal	94
Tabel 6 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Percepatan pada <i>Probe 2</i> dengan beban vertikal	94
Tabel 7 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Perlambatan pada <i>Probe 2</i> tanpa beban vertikal	95
Tabel 8 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Perlambatan pada <i>Probe 2</i> dengan beban vertikal	95
Tabel 9 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Percepatan pada <i>Probe 3</i> tanpa beban vertikal	96
Tabel 10 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Percepatan pada <i>Probe 3</i> dengan beban vertikal	96
Tabel 11 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Perlambatan pada <i>Probe 3</i> tanpa beban vertikal	97
Tabel 12 Data hasil Simulasi <i>Laser Carrier</i> mengalami	
Perlambatan pada <i>Probe 3</i> dengan beban vertikal	97

BAB I

PENDAHULUAN

I.1. Latar Belakang

Dalam dunia industri terutama dalam industri manufaktur banyak perkembangan teknologi yang mendukung proses pengerjaan yang lebih baik. Proses pengerjaan yang baik disini kita definisikan sebagai pengerjaan dengan akurasi dan produktifitas yang tinggi. Begitu juga dengan teknologi potong atau *cutting machine*, sudah banyak teknologi yang berkembang.

Perkembangan teknologi dari *cutting machine* mulai dari pemotongan dengan peralatan tangan, mesin gullotine, mesin hidrolik, dan mesin laser. Berdasarkan modul pemotongan plat^[1] perkembangan teknologi yang sudah ada, bisa dilakukan perbandingan beberapa teknologi yang memiliki 1 kali proses pemotongan. Yang pertama adalah sitem manual dengan tenaga manusia, dimana keakurasian pemotongan tidak dapat diukur dikarenakan pemotongan secara manual. Proses pemotongan dengan manual yaitu dengan menggunakan gunting tangan dan gunting tuas, dimana tebal plat yang bias dipotong bias mencapai 0.8 mm menggunakan gunting tangan dan 3 mm menggunakan gunting tuas.

Perkembangan selanjutnya mengarah pada keakurasian yang lebih tinggi tetapi tidak ada literatur yang bisa menyebutkan keakurasian alat potong ini. Alat potong selanjutnya adalah mesin *gillotine* dimana alat ini dibagi menjadi 2 yaitu mesin *gillotine* manual dan *gillotine* hidrolik. Untuk mesin *gillotine* manual menggunakan tenaga kaki manusia, dan tebal yang bias dipotong bias mencapai 6 mm. jika menggunakan mesin *gullotine* hidrolik, tebal plat yang bias dipotong bias mencapai 12 mm. pengerjaan menggunakan mesin *gullotine* bisa lebih lurus tetapi tidak bias melakukan pemotongan dengan motif yang lain seperti lurus atau menyudut. Dan ada satu mesin pemotong juga yang disebut mesin hidrolik, dengan system yang hampir sama dengan mesin

gullotine hidrolik, tetapi kelebihan mesin hidrolik ini adalah adanya komponen tambahan yaitu *panel box control hydrolic* dimana pengerjaan bisa lebih mudah. Dan untuk ketebalan material yang bias dipotong oleh mesin hidrolik adalah mencapai 20 mm.

Untuk teknologi terkini yang paling banyak digunakan oleh industri adalah mesin laser. Laser (singkatan dari bahasa Inggris: *Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*) merupakan mekanisme suatu alat yang memancarkan radiasi elektromagnetik, biasanya dalam bentuk cahaya yang tidak dapat dilihat maupun dapat lihat dengan mata normal, melalui proses pancaran terstimulasi. Pancaran laser biasanya tunggal, memancarkan foton dalam pancaran koheren. Prinsip kerja adalah energi panas dari sinar laser mencairkan dan menguapkan material yang akan dipotong.

Dari perkembangan teknologi diatas, bisa dilihat kalau *fiber laser cutting* yang paling efisien di dunia industri manufaktur. Didalam jurnal karya **Catherine Wandera**^[2] mengatakan bahwa kedalaman potong dan kecepatan potong yang dicapai oleh *fiber laser cutting* lebih baik dari pada *CO2 laser cutting*. Hal tersebut dikarenakan panjang gelombang *fiber laser cutting* (1.06 μm) yang lebih pendek dari pada panjang gelombang yang lebih panjang (10.6 μm) yang dimiliki oleh *CO2 laser cutting*. Dimana panjang gelombang yang lebih pendek lebih mudah diserap oleh material pelat metal. Dengan toleransi pemotongan mencapai $\pm 0.127 \text{ mm}$ ^[3], dimana toleransi tersebut hanya toleransi dari diameter *beam* yang dipancarkan. Dengan mengacu pada salah satu produk mesin cnc *fiber laser cutting* FCT – 1500 – CNC yang akan dianalisa, kecepatan dari crane pemegang laser box bisa mencapai 72 m/ menit, maka dibutuhkan struktur crane yang rigid serta ringan. Untuk keakurasian selain dari diameter beam bisa juga dilihat dari siste yang digunakan, yaitu menggunakan cartesain robot, dimana keakurasian bisa mencapai 10 μm jika menggunakan *ball screw* dan jika menggunakan *belt* maka keakurasian bisa mencapai 0.1 mm^[15].

Keakurasian atau toleransi yang dicapai mesin *fiber* atau *CO2 laser cutting* hanya berdasarkan dari diameter beam, jarang literatur atau *manual book* dari mesin *laser cutting* yang menyebutkan ketelitian dari mesin *laser cutting* berdasarkan defleksi struktur *crane* saat pengereman atau percepatan terjadi.

Perancangan struktur *crane laser box* ini, mengacu pada video literatur yang didapat. Pada video tersebut terdapat sebuah koin yang di letakkan berdiri di ujung table mesin cnc. Disaat mesin cnc tersebut bekerja, koin tersebut tidak jatuh. Untuk analisa quasistatis, koin tersebut dianalisa dengan memperhitungkan gaya gaya yang bekerja pada koin tersebut. Gaya yang bekerja pada koin tersebut diperoleh dari masa koin dikalikan dengan suatu percepatan, dan percepatan tersebut menjadi parameter dari perancangan *crane laser box* tersebut. Percepatan gerak pada *crane laser box* ini diharapkan lebih kecil dari percepatan yang bekerja pada koin tersebut. dengan batasan semua gaya tersalurkan 100% ke koin tersebut. Untuk parameter keakurasian dari struktur *laser carrier* tersebut mengacu pada produk yang dihasilkan. Produk yang dihasilkan dari *Fiber Laser Cutting* ini memiliki toleransi sebesar 0,001 inci atau 25,4 μm .

Perancangan kerangka utama dari *fiber laser cutting* ini dimulai dengan studi literatur tentang gambaran kasar dari kerangka utama dan beban beban yang akan diterima oleh kerangka utama tersebut. Dan memformulasikan beban beban yang akan diterima oleh struktur dasar *crane* tersebut. Beban beban yang diperhitungkan yaitu beban dari crane tersebut, beban komponen yang ada pada crane, beban saat akselerasi, dan beban pengereman pada kecepatan yang divariasikan. Setelah itu mulai di desain kerangka yang kuat dan rigid seperti yang diharapkan. Dan dari desain tersebut kita simulasi dengan menggunakan program ansys. Simulasi yang dilakukan adalah simulai statis yaitu *static structural* agar mendapatkan hasil yang mendekati dengan kondisi sesungguhnya.dan simulasi ini, mengacu pada 3 titik yang telah ditentukan.

I.2. Rumusan Masalah

Untuk mengevaluasi atau merancang struktur dasar crane pemegang laser box agar mampu menerima beban statis maupun dinamis, maka perumusan dalam tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana menentukan geometri dan dimensi dari *laser carrier* sebagai dasar mendesain *laser carrier* tersebut.
2. Bagaimana formulasi gaya gaya yang bekerja pada struksur dasar *laser carrier*
3. Bagaimana memodelkan *boundary* dari *laser carrier*.
4. Mencari nilai deformasi maksimal kearah horisontal, kekakuan dari *laser carrier* ketika menerima beban statis, pengereman, dan beban percepatan.
5. Bagaimana kemampuan *laser carrier* dalam menerima pembebanan statis , pengereman dan pembebanan percepatan menggunakan *ANSYS static structural*.

I.3. Batasan Masalah

Agar penulisan tugas akhir ini lebih terarah, maka perlu diberikan beberapa batasan dalam penelitian ini. Adapun batasan masalah tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Material yang dipakai dalam mendesain bersifat *homogen, isotropic* dan elastis.
2. Perhitungan gaya percepatan dan gaya perlambatan dianggap sebuah partikel.
3. Pemodelan beban-beban yang bekerja pada struktur crane yaitu pemodelan *quasistatic*.
4. Tumpuan masing-masing masa dianggap tidak mempunyai reaksi momen dan hanya mempunyai reaksi F_x , F_y , dan F_z .

I.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari Tugas Akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Mencari nilai deformasi maksimal ke arah horizontal dan kekuatan dari crane laser box ketika menerima beban statis, pengereman, dan beban percepatan.
2. Mengevaluasi kemampuan *laser carrier* dalam menerima pembebanan statis, pengereman dan pembebanan percepatan menggunakan *ANSYS static structural*.

I.5. Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari Tugas Akhir ini dibagi menjadi dua, yaitu :

I.5.1. Manfaat Khusus

Memberikan nilai ketelitian dari proses cutting saat terjadinya beban percepatan dan beban perlambatan pada variabel kecepatan.

I.5.2. Manfaat Umum

Adapun manfaat khusus adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai media penelitian dan pengembangan ilmu pengetahuan dalam dunia manufacturing Indonesia.
- b. Membantu mahasiswa untuk lebih memahami konsep pengembangan dan perancangan struktur dasar mesin manufacturing.
- c. Memberi rekomendasi desain struktur *laser carrier* kepada perusahaan manufaktur Indonesia yang bekerja sama dengan Menristek Indonesia yang lebih baik dari mesin laser cutting yang sebelumnya.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

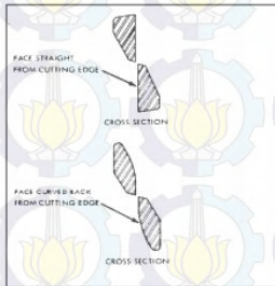
Pada bab 2 ini dijelaskan tentang dasar-dasar teori yang berhubungan dengan tugas akhir ini. Dimulai dengan perkembangan teknologi *cutting machine* yang menjelaskan tentang perkembangan-perkembangan teknologi *cutting machine* dari teknologi manual sampai teknologi laser. Teori kegagalan juga dijelaskan untuk memberi dasar teori tentang teori kegagalan *von mises*. Serta *Finite Elemen Analysis* (FEA) sebagai metode simulasi yang dipakai pada tugas akhir ini. FEA dibagi menjadi 3 macam yaitu elemen satu dimensi, elemen dua dimensi, dan elemen tiga dimensi. Pada tugas akhir ini, gerak dari struktur crane laser box berdasarkan gerak lurus berubah beraturan untuk mengetahui seberapa besar percepatan yang dibutuhkan untuk menggerakkan struktur *laser carrier*. Serta juga menggunakan teori hukum Newton 1 dan hukum Newton 2 dengan mengansumsikan bahwa struktur crane tersebut sebagai partikel. Dan yang terakhir menjelaskan tentang studi literature dari beberapa jurnal yang berkaitan. Berikut penjelasan lengkapnya.

II.1. Perkembangan Teknologi *Cutting Machine*

Dalam dunia industry manufaktur, pemotongan menjadi hal yang pertama dilakukan, karena pelat-pelat yang dihasilkan pabrikan masih dalam bentuk lembaran-lembaran. Pelat-pelat tersebut harus dipotong menurut gambar yang diinginkan. Proses pemotongan pelat pelat ini dapat dilakukan dengan berbagai macam teknik pemotongan sesuai kebutuhan. Pada pembahasan kali ini, teknik yang dipakai yaitu pemotongan dengan 1 kali proses. Perkembangan teknologi *cutting machine* sangat pesat, demi mengejar keakurasian dan tingkat produktifitas. Perkembangan teknologi *cutting machine* dimulai dari pemotongan manual, mesin gullotine, mesin hidrolis, dan mesin Laser.

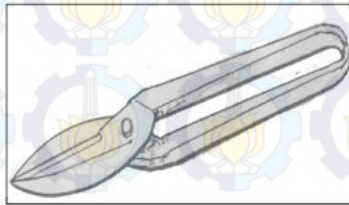
II.1.1. Mesin Manual

Sesuai dengan namanya yakni gunting tangan digunakan untuk pemotongan pelat-pelat dengan tangan secara manual. Gaya pemotongan yang ditimbulkan dalam proses pemotongan dengan gunting tangan adalah gaya geser, akibat geseran antara kedua mata pisau inilah yang menyebabkan tergungtingnya pelat seperti **gambar 2.1**. Kemampuan potong gunting tangan ini hanya mampu memotong pelat dibawah ketebalan 0.8 mm ^[1]. keakurasian dari gunting tangan ini, tidak dapat diukur dikarenakan pemotongan secara manual. Tetapi pengoperasian dari gunting ini yang sangat mudah.

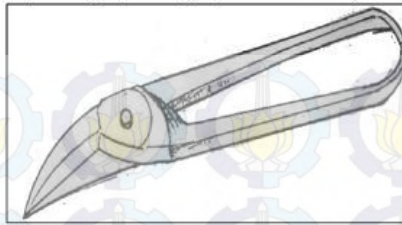


Gambar2.1 proses pemotongan gunting tangan^[1]

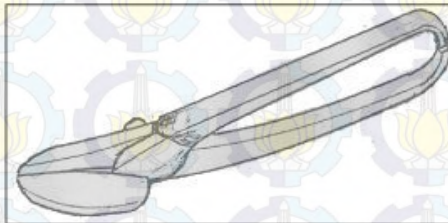
Gunting tangan seperti **gambar 2.2** bisa memotong secara lurus dan bisa memotong secara melingkar dengan menggunakan gunting tangan lingkaran pada **gambar 2.3**, serta ada jenis gunting tangan kombinasi seperti **gambar 2.4** yang bisa memotong lurus dan memotong melingkar ^[1].



Gambar 2.2 gunting tangan lurus^[1]

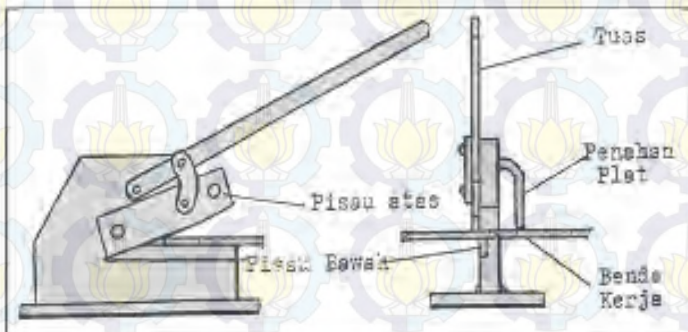


Gambar 2.3 gunting tangan lingkaran^[1]



Gambar 2.4 gunting tangan kombinasi^[1]

Untuk memotong pelat dengan ketebalan 1 mm – 3 mm bisa menggunakan gunting tuas ^[1]. Tetapi gunting tuas seperti **gambar 2.5** hanya bisa memotong pelat secara lurus.

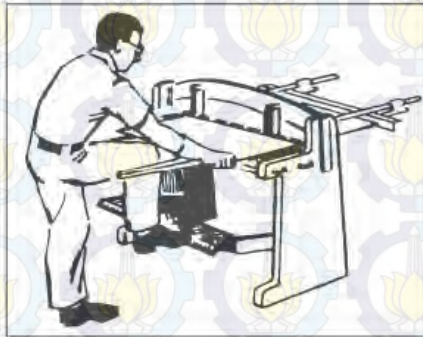


Gambar 2.5 bagian-bagian gunting tuas^[1]

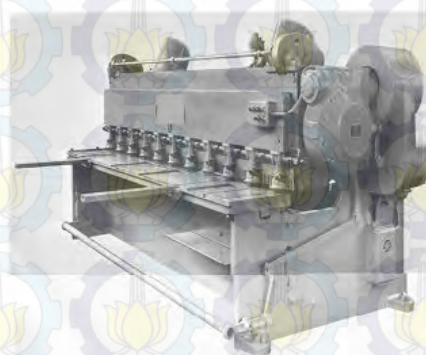
II.1.2. Mesin Gullotine

Mesin gullotine terdiri dari 2 jenis yakni mesin *gullotine* maual dan mesin *gullotine* hidrolik. Mesin *gullotine* manual

seperti **gambar 2.6** pemotongan pelat dilakukan dengan tuas penekan yang digerakkan oleh kaki si pekerja. Mesin *gullotine* hidrolik seperti **gambar 2.7** proses pemotongnya digerakkan dengan sistem hidrolik, sehingga kemampuan potong mesin *gullotine* hidrolik ini lebih besar dari mesin *gullotine* manual. Mesin *gullotine* ini hanya mampu untuk pemotong pelat-pelat lurus. Untuk mesin *gullotine* manual ketebalan pelat yang dipotong dibawah 0.6 mm dan mesin *gullotine* hidrolik mampu memotong pelat antara 6-10 mm. pada mesin mesin *gullotine* ini juga dilengkapi dengan alat ukur untuk pengukuran pelat yang tepat, sehingga mempermudah pada proses pemotongannya^[1].



Gambar 2.6 mesin gullotine manual^[1]



Gambar 2.7 mesin guillotine hidrolik^[1]

II.1.3. Mesin Potong Hidrolis

Mesin gunting hidrolis seperti **gambar 2.8** menggunakan tenaga *power supply* tenaga hidrolis. Tenaga hidrolis yang dihasilkan untuk memotong adalah pompa hidraulik yang digerakkan oleh motor listrik. Mesin gunting hidraulik ini dilengkapi dengan program pada *panel box control* hidraulik. Dengan program hidraulik ini pelayanan untuk operasional mesin potong menjadi lebih sederhana. Kemampuan menggunting atau memotong palt dengan mesin hidraulik ini sampai mencapai ketebalan pelat 20 mm. Prinsip kerja mesin hidraulik ini sama dengan mesin *gullotine* umumnya. Hanya penekan yang digunakan pada mesin ini menggunakan actuator kerja ganda (*double acting*) dengan silinder sebanyak dua buah^[1].



Gambar 2.8 mesin potong hidrolis^[1]

II.1.4. *Laser Beam Machine*

Laser Beam Machining (LBM) adalah suatu metode pemotongan, di mana benda kerja dileburkan dan diuapkan oleh sebuah sinar laser monokromatik yang kuat. Ketika sinar mengenai benda kerja, panas menghasilkan lelehan dan menguapkan benda kerja hingga yang paling keras sekalipun ^[5].

Gambar 2.9 adalah contoh hasil pemotongan menggunakan LBM.

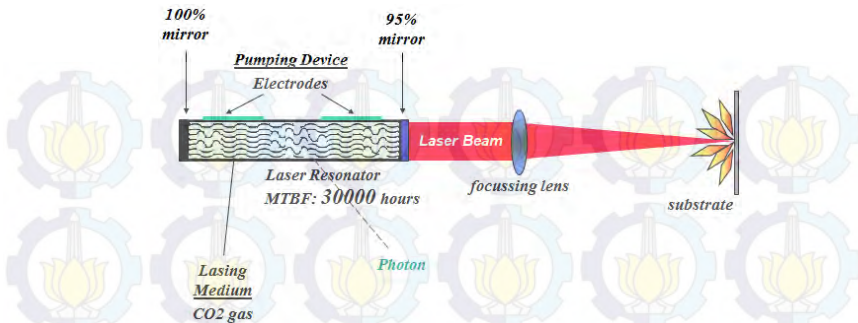


Gambar 2.9 huruf “E” yang dibuat dengan LBM^[5]

Ada 3 jenis laser yang banyak beredar di dunia industri dan 3 jenis laser juga yang akan kita bahas. Yaitu CO_2 laser, *Fiber Laser*, dan YAG laser.

II.1.4.1. *CO₂ Laser*

Laser mempunyai beberapa bagian utama yaitu pumping device berupa electrode, laser resonator/laser tube, mirror/cermin, dan lensa seperti **gambar 2.10**. Laser resonator merupakan bahan aktif yang di dalamnya terisi oleh gas CO_2 . Pada kedua sisi tabung resonator ditempatkan dua cermin yang saling berhadapan secara sejajar. *Pumping device/electrode* berfungsi untuk mengeksitasi atom-atom gas CO_2 . Atom yang tereksitasi tersebut mengemisi foton sehingga menyebabkan pergerakan foton (gelombang elektromagnetik). Gelombang elektromagnetik merambat dalam arah yang tegak lurus dari cermin sehingga terjadi pemantulan oleh kedua cermin dan dikuatkan pada setiap lintasan melalui bahan aktif (gas CO_2).

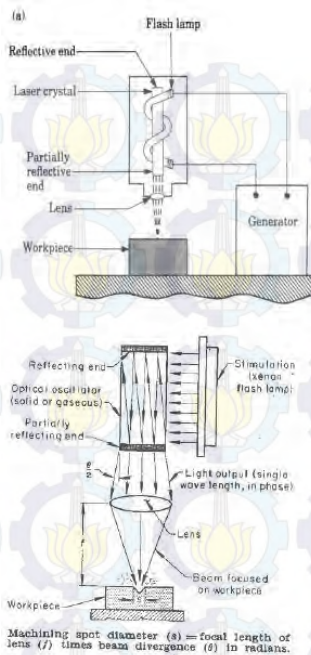


Gambar 2.10 skema CO₂ laser^[14]

II.1.4.2. Fiber Laser

Fiber Laser termasuk dari *Laser Solid State*. Yang mana membuat Sinar Laser dari Benih Laser yang diperkuat dan didesain khusus dalam *Fiber Glass*, dengan skema pada **gambar 2.11**. Fiber Laser disupply oleh energy dari Dioda Pompa, dengan Panjang Gelombang 1,064 micrometer, Fiber Laser memiliki ketajaman detail yang sangat Halus, paling Detail dibanding Tipe Laser YAG dan CO₂. Sebagai perbandingan, Intensitas hasil Laser Fiber 100x lebih halus dibanding CO₂ Laser dengan power yang sama. Hasil *Cutting, Marking, Engraving Fiber Laser* jauh lebih detail dan sangat Halus dan rapi. Sangat cocok digunakan untuk Industri yang membutuhkan Mesin Laser dengan Kualitas Premium dan *Cost Operasional* yang sangat Murah.

Fiber Laser umumnya digunakan untuk *Cutting* (Potong) , *Engraving*(Ukir) dan *Marking* material Logam / Metal, meski juga bisa untuk Plastik juga. Kelebihan *Fiber Laser* selain memiliki tingkat Detail dan Kehalusan paling tinggi, *Fiber Laser* juga bebas perawatan dan memiliki Masa Umur Produksi yang paling lama.. sekitar 25.000 jam. Tentu *Fiber Laser* merupakan Tipe Mesin Laser yang paling mahal dibanding YAG Laser dan CO₂ Laser ^[4].



Gambar 2.11 skema fiber laser^[5]

II.1.4.3. YAG Laser

Seperti *Fiber Laser*, *YAG Laser* juga termasuk *Laser Solid State*. Komponen yang digunakan dalam Laser jenis ini adalah Nd:YAG (*Neodymium-Doped Yttrium Aluminium Garnet*) dan Nd:YVO (*Neodymium-Doped Yttrium Ortho-Vanadate*), dan kemudian dikenal dengan nama *YAG Laser*. Dengan panjang gelombang yang sama dengan *Fiber Laser*, yaitu 1,064 micrometer, *YAG Laser* juga sangat cocok untuk pengerjaan Material Logam / Metal, dan Plastik.

Beda *YAG Laser* dengan *Fiber Laser* adalah *YAG Laser* memiliki komponen Dioda Pompa yang cukup mahal dan terdapat *Consumable Parts* (Parts yang bisa habis). Pompa Dioda hanya berumur sekitar 8000 hingga 15000 jam operasional.

Setelah itu harus diganti. Dalam sisi Hasil Pengerjaan, *YAG Laser* memiliki tingkat Detail dan Kehalusan sedikit dibawah *Fiber Laser*. Jadi kesimpulannya, *YAG Laser* merupakan Jenis Laser Metal yang berada di kelas menengah, dengan Fitur seperti *Fiber*, dan harga masih lebih murah dibanding *Fiber Laser* dan memiliki umur yang lebih pendek dibanding *Fiber*.

Table 2.1 perbandingan CO_2 laser, YAG laser dan Fiber laser^[6]

<i>jenis Laser</i>	<i>CO₂</i>	<i>YAG</i>	<i>Fiber</i>
Material	Non Metal Plastics	Metal / Logam Plastics	Metal / Logam Plastics
Cutting Engraving Marking	10.6 micrometer Good for Non Metals Precisions	1.06 micrometer Good for Metals High Precisions	1.06 micrometer Ultra Smooth Ultra Precisions
Maintenance & Operational Costs	CO2 Laser Tube replacement	Pump Diode replacement	Free Maintenance
Operational Hours	1.000 - 3.000 hours	8.000 - 15.000 hours	25.000 hours
Price	Low	Medium	High

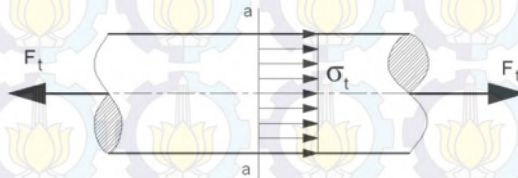
II.2. Teori Kegagalan

Tegangan normal terjadi apabila dua gaya (F_t atau F_c) yang besarnya sama dan berlawanan arah bekerja tegak lurus

pada potongan suatu benda ^[11]. Dimana seperti **gambar 2.12** terjadi kondisi tarik dan pada **gambar 2.13** terjadi kondisi tekan.

Kondisi tarik (tension)

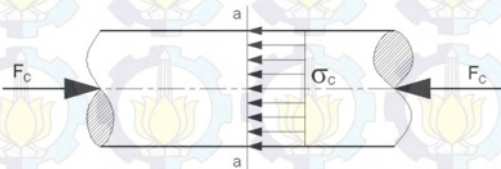
$$\sigma_t = \frac{F_t}{A_{(a-a)}}$$



Gambar 2.12 Tegangan normal tarik pada silinder^[11]

Kondisi tekan (compression)

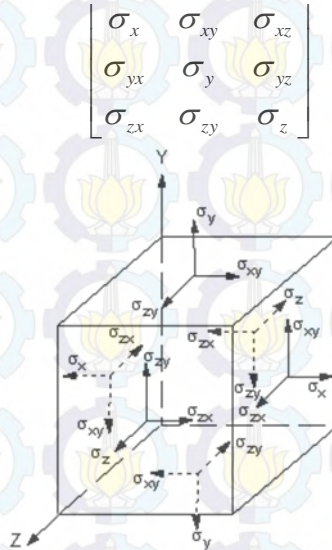
$$\sigma_c = \frac{F_c}{A_{(a-a)}}$$



Gambar 2.13 Tegangan normal tekan pada silinder^[11]

Pada penelitian tugas akhir ini benda yang di teliti memiliki tiga dimensi, jadi dilakukan analisa tiga dimensi. Tegangan dilihat pada sebuah titik apabila diperbesar berupa bentuk kubus yang memiliki dimensi dx,dy dan dz seperti pada **gambar 2.14**. Dengan mengambil suatu sumbu referensi

orthogonal (Cartesian) maka kubus tersebut akan memiliki 9 komponen sebagai berikut :



Gambar 2.14 Tensor tegangan tiga dimensi^[11]

Dimana memiliki Tegangan Prinsipil yang didapat dari persamaan :

$$\sigma^3 - I_1 \sigma^2 + I_2 \sigma - I_3 = 0$$

sehingga diperoleh σ_1 , σ_2 dan σ_3 dimana,

$$I_1 = \sigma_x + \sigma_y + \sigma_z$$

$$I_2 = \sigma_x \cdot \sigma_y + \sigma_y \cdot \sigma_z + \sigma_x \cdot \sigma_z - \tau_{xy}^2 - \tau_{yz}^2 - \tau_{xz}^2$$

$$I_3 = \sigma_x \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z + 2 \cdot \tau_{xy} \cdot \tau_{yz} \cdot \tau_{xz} - \sigma_x \cdot \tau_{yz}^2 - \sigma_y \cdot \tau_{xz}^2 - \sigma_z \cdot \tau_{xy}^2$$

Sedangkan tegangan equivalennya didapat dari persamaan :

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 \right]^{1/2}$$

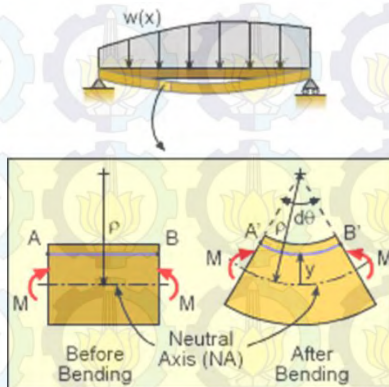
atau

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

Persamaan di atas merupakan *Maximum Distortion Energy Failure Theory (DET)* atau yang juga dikenal dengan istilah *Von Mises*

II.3. Teori Defleksi

Teori defleksi ini untuk merumuskan atau memformulasikan secara teori defleksi pada beam. Dengan pendekatan bahwa struktur *laser carrier* dianggap beam. Batasan atau asumsi yang digunakan yaitu beam diasumsikan lurus, material bersifat elastis, sudut kemiringan dan panjang defleksi diasumsikan sangat kecil, dan deformasi yang terjadi adalah deformasi akibat bending^[7]. Seperti pada **gambar 2.15**, dimana beam mendapat gaya merata dan terjadi defleksi.



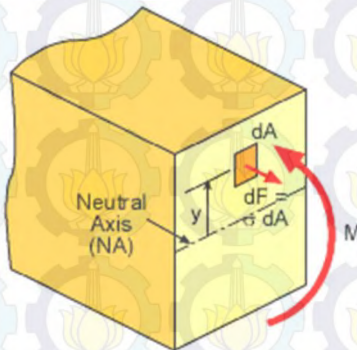
Gambar 2.15 defleksi pada beam

Dengan menggunakan persamaan dasar regangan, $\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$,

$$\epsilon = \frac{\overline{A'B'} - \overline{AB}}{\overline{AB}}$$

Dimana, $\overline{AB} = \rho d\theta$ dan $\overline{A'B'} = (\rho - y)d\theta$, maka:

$$\epsilon = \frac{(\rho - y)d\theta - \rho d\theta}{\rho d\theta} = \frac{\rho d\theta - y d\theta - \rho d\theta}{\rho d\theta} = -\frac{y}{\rho}$$



Gambar 2.16 momen dan gaya yang bekerja pada beam

Dari **gambar 2.16**, untuk momen (M) bernilai positif, tegangan yg berada diatas adalah tegangan kompresi (Tegangan negative) dan untuk bagian bawah, adalah tegangan tarik (tegangan positif). Dengan menggunakan rumus dasar tegangan, $\sigma = E\epsilon$. Dan mensubstitusikan persamaan regangan diatas, maka: $= -E \frac{y}{\rho}$ dengan persamaan momen dengan acuan NA, maka:

$$\sum M_{NA} = 0$$

$$\int y (-dF) = M$$

$$-\int y \sigma dA = M$$

$$\frac{E}{\rho} \int y^2 dA = M$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{M}{EI}$$

$$\rho = \left| \frac{[1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2]^{3/2}}{d^2y/dx^2} \right|$$

$$\frac{1}{\rho} = \frac{d^2v}{dx^2}$$

$$\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$$

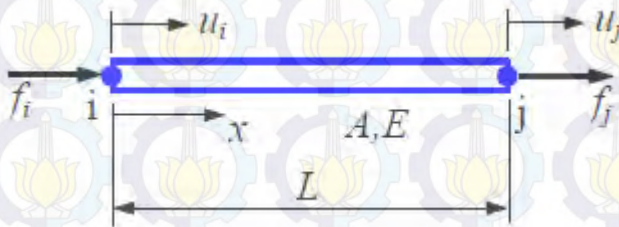
Persamaan defleksi ($\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$), adalah persamaan dasar untuk mencari total defleksi dari *beam* tersebut. Untuk menyelesaikan persamaan diferensial diatas, banyak metode yang digunakan. Dari metode integral, metode bidang momen, metode superposisi, metode *castigliano*, dan metode numerik (*Finite Elemen Analysis*). Dan metode *numeric* inilah yang akan kita gunakan, karena yang paling mendekati dengan kenyataan.

II.4. *Finite Elemen Analysis* (FEA)

Metode Elemen Hingga (*Finite Element Method*) adalah salah satu metode numerik untuk menyelesaikan berbagai problem rekayasa, seperti mekanika struktur, mekanika tanah, mekanika batuan, mekanika fluida, hidrodinamik, aerodinamik, medan magnet, perpindahan panas, dinamika struktur, mekanika

nuklir, aeronautika, akustik, mekanika kedokteran dan sebagainya [8].

Dasar dari metode elemen hingga adalah membagi benda kerja menjadi elemen-elemen kecil yang jumlahnya berhingga sehingga dapat menghitung reaksi akibat beban (load) pada kondisi batas (boundary condition) yang diberikan. Dari elemen-elemen tersebut dapat disusun persamaan-persamaan matrik yang bisa diselesaikan secara numerik dan hasilnya menjadi jawaban dari kondisi beban yang diberikan pada benda kerja tersebut. Dari penyelesaian matematis dengan menghitung inverse matrik akan diperoleh persamaan dalam bentuk matrik untuk satu elemen dan bentuk matrik total yang merupakan penggabungan (assemblage) matrik elemen. Dengan pendekatan secara sederhana sebagai berikut:



Gambar 2.17 free body diagram batang^[12]

Keterangan:

- | | |
|--------------------------------|-------------------------|
| L | : Panjang batang. |
| A | : Luas penampang batang |
| E | : Modulus elastisitas |
| $u = u(x)$ | : Perpindahan |
| $\varepsilon = \varepsilon(x)$ | : Regangan |
| $\sigma = \sigma(x)$ | : Tegangan |

Hubungan regangan dengan perpindahan: $\varepsilon = \frac{du}{dx}$

Hubungan tegangan dengan regangan: $\sigma = E \cdot \varepsilon$

Dengan menggunakan metode matriks kekakuan langsung, maka:

$$\varepsilon = \frac{u_j - u_i}{L} = \frac{\Delta}{L}$$

$$\sigma = E\varepsilon = \frac{E\Delta}{L}$$

Dimana tegangan sama dengan gaya dibagi dengan luasan:

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

, maka:

$$F = \frac{EA}{L} \Delta = k\Delta$$

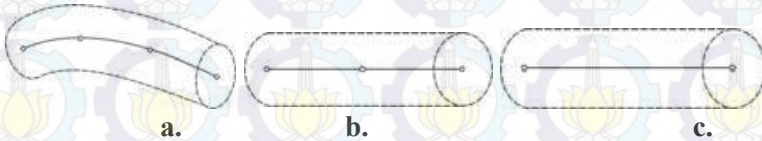
Dimana $k = EA/L$ adalah kekakuan dari batang tersebut. Jadi untuk mencari gaya, dan juga tegangan dan regangan dibutuhkan data tentang perpindahan (Δ) dari tiap tiap elemen yang ada pada batang tersebut.

Terdapat berbagai tipe bentuk elemen dalam metode elemen hingga yang dapat digunakan untuk memodelkan kasus yang akan dianalisis, yaitu :

II.4.1. Elemen Satu Dimensi

Elemen satu dimensi terdiri dari garis (*line*). Tipe elemen ini yang paling sederhana, yakni memiliki dua titik nodal, masing-masing pada ujungnya, disebut elemen garis linier. Dua

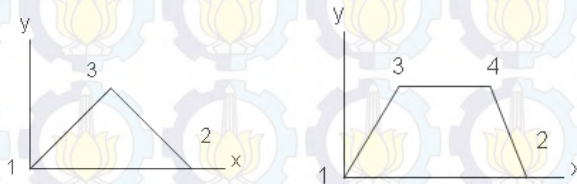
elemen lainnya dengan orde yang lebih tinggi, yang umum digunakan adalah elemen garis kuadratik dengan tiga titik nodal dan elemen garis kubik dengan empat buah titik nodal seperti pada **gambar 2.18**.



gambar 2.18 elemen 1 dimensi, a. Kubik b. Kuadratik c. Linier^[12]

II.4.2. Elemen Dua Dimensi

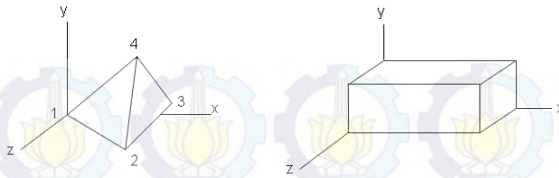
Elemen dua dimensi terdiri dari elemen segitiga (*triangle*) dan elemen segiempat (*quadrilateral*) seperti **gambar 2.19**. Elemen orde linier pada masing-masing tipe ini memiliki sisi berupa garis lurus, sedangkan untuk elemen dengan orde yang lebih tinggi dapat memiliki sisi berupa garis lurus, sisi yang berbentuk kurva ataupun dapat pula berupa kedua-duanya.



Gambar 2.19 elemen 2 dimensi segitiga dan segiempat^[12]

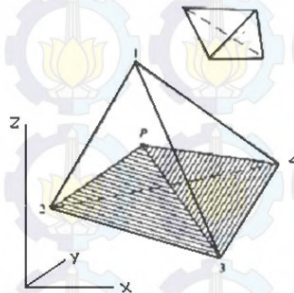
II.4.3. Elemen Tiga Dimensi

Elemen tiga dimensi terdiri dari elemen tetrahedron dan elemen balok seperti **gambar 2.20**.



Gambar 2.20 elemen 3 dimensi *tetrahedron* dan *balok*^[12]

Adapun elemen yang digunakan dalam penelitian ini adalah elemen tetrahedron seperti **gambar 2.21**. Elemen tetrahedron adalah elemen yang paling mudah untuk dibentuk dalam suatu modal matematika.



Gambar 2.21 elemen *tetrahedron*^[11]

Struktur crane laser box terbuat dari baja dengan sedemikian rupa sehingga membentuk sistem struktur pejal yang rumit. Struktur pejal tersebut akan menerima beban aksial maupun lentur, sehingga elemen tersebut dapat diberlakukan sebagai elemen hingga. Dikarenakan struktur *crane laser box* cukup rumit, maka digunakanlah elemen tetrahedron ini. Elemen tetrahedron ini memiliki 4 titik nodal dikeempat titik sudutnya.

II.5. Teori gerak Lurus Berubah Beraturan

Pada pembahasan Tugas akhir ini, kecepatan dari struktur crane bergerak secara konstan, dimana percepatan dan perlambatan yang terjadi secara konstan. Gerak struktur crane ini gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Gerak lurus berubah beraturan (GLBB) diartikan gerak benda dengan lintasan garis

lurus dan memiliki kecepatan setiap saat berubah secara teratur ^[8].
Rumus GLBB ada 3, yaitu:

$$\begin{aligned}v_t &= v_0 + a \cdot t \\s &= v_0 \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \\v_t^2 &= v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s\end{aligned}$$

Dengan keterangan:

v_t	= kecepatan akhir atau kecepatan setelah t sekon (m/s).
v_0	= kecepatan awal (m/s).
a	= percepatan (m/s^2)
t	= selang waktu (s)
s	= jarak tempuh (m)

II.6. Hukum Newton

Hukum newton diterapkan pada benda yang dianggap sebagai partikel, dalam evaluasi pergerakan misalnya, panjang benda tidak dihiraukan, karena objek yang dihitung dapat dianggap kecil, relative terhadap jarak yang ditempuh. Perubahan bentuk dan rotasi dari suatu objek juga tidak diperhitungkan dalam analisisnya. Dalam tugas akhir ini, analisa menggunakan analisa statis dimana struktur crane dianggap sebagai sebuah partikel.

II.6.1. Hukum Newton I

Hukum Newton I menyatakan bahwa setiap benda akan mempertahankan keadaan diam atau bergerak lurus beraturan, kecuali ada gaya yang bekerja untuk mengubahnya. Hukum ini menyatakan bahwa jika resultan gaya bernilai nol, maka kecepatan benda tersebut konstan ^[10]. Dirumuskan secara matematis menjadi:

$$\sum F = 0 \Rightarrow \frac{dv}{dt} = 0$$

Artinya:

- Sebuah benda yang sedang diam akan tetap diam kecuali ada resultan gaya yang tidak nol bekerja padanya.
- Sebuah benda yang sedang bergerak, tidak akan berubah kecepatannya kecuali ada resultan gaya yang tidak nol bekerja padanya.

II.6.2. Hukum Newton II

Hukum kedua menyatakan bahwa total gaya pada sebuah partikel sama dengan banyaknya perubahan momentum linear p terhadap waktu ^[10]:

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{d(m.v)}{dt}$$

Karena hukumnya hanya berlaku untuk sistem dengan massa konstan, variable massa dapat dikeluarkan dari operator diferensial, maka:

$$F = m \frac{dv}{dt} = m \cdot a$$

Keterangan:

F = total gaya yang bekerja.

m = massa benda.

a = percepatan benda.

II.7. Studi Literatur

Studi literature pada jurnal PENGUKURAN DAYA LASER CO₂ DAN LASER DPSS SERTA PENGAMATAN BEAM PROFILER SINAR LASER DPSS DAN LASER He-Ne MENGGUNAKAN CCD karya **Helen Martina Manurung,dkk**

tidak menjelaskan tentang analisa struktur crane laser box, tetapi menjelaskan tentang daya laser dan pengamatan beam profiler. Dalam prosedur pengukuran besar daya, laser yang digunakan adalah laser CO₂ dan laser DPSS. Pada pengukuran besar daya dilakukan dengan memvariasikan besar arus yang diberikan pada laser. Pada laser DPSS, dalam pengukuran besar daya yang dihasilkan selain memvariasikan besar arus yang diberikan, digunakan juga variasi cermin. Cermin disini hanya bersifat untuk memantulkan berkas sinar laser. Pengukuran daya dilakukan 3 dan dari hasil pengukuran besar daya laser DPSS ini diperoleh data berupa numerik dan grafik akan dianalisa secara kuantitatif hingga diperoleh suatu kesimpulan.

Dalam pengamatan bentuk sinar laser (*beam profiler*), laser yang digunakan adalah laser DPSS dan laser He-Ne. pada pengamatan spectrum panjang gelombang laser, laser yang digunakan dalam karakteristik ini adalah laser DPSS dan laser He-Ne.

Dari hasil penelitian dapat ditarik beberapa kesimpulan yakni :

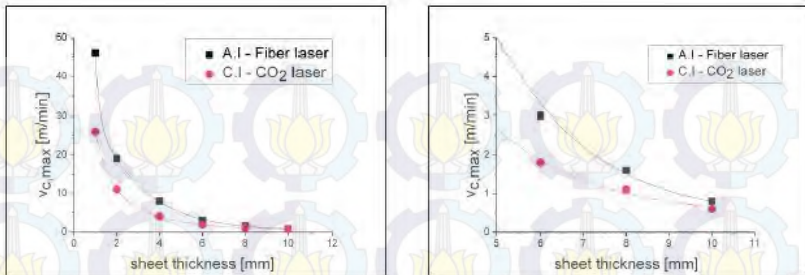
1. Dari hasil pengukuran, pada laser CO₂ dimana pada arus 10 mA, daya yang dihasilkan sudah tidak stabil, sedangkan laser DPSS ketidakstabilan daya pada arus 2,8 - 3 ampere.
2. Laser CO₂ menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan laser DPSS. Namun, laser DPSS memiliki daya yang lebih stabil dibanding laser CO₂.
3. Dari hasil pengamatan bentuk berkas laser DPSS yang bagus, CCD diletakkan pada jarak 32 cm dari sumber laser DPSS dengan diameter berkas laser sebesar $3,673 \times 10^3 \mu\text{m}$ (3,673 mm), dan untuk laser He-Ne, CCD diletakkan pada jarak 10 cm dari sumber laser He-Ne dengan diameter berkas laser sebesar $4,451 \times 10^3 \mu\text{m}$ (4,451 mm).

Pada jurnal yang lain, berjudul EXPERIMENTAL INVESTIGATIONS ON FUSION CUTTING STAINLESS STEEL WITH FIBER AND CO₂ LASER BEAMS karya **Stelzer S, dkk** menjelaskan perbedaan antara Fiber laser dan CO₂ laser saat memotong stales steel. Stainless steel AISI 304 dengan ketebalan 1-10 mm dipotong menggunakan 2 buah laser dengan perbedaan sebagai berikut:

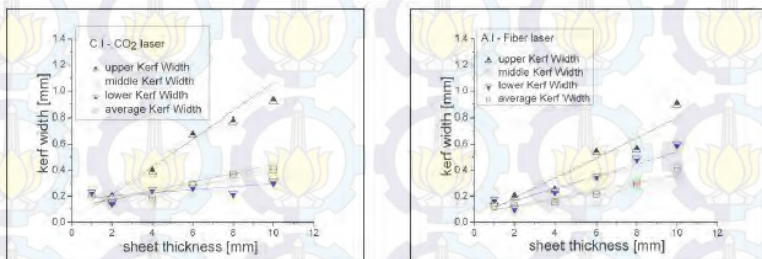
Table 2.2 parameter Fiber laser dan CO₂ laser^[13]

Laser and Beam Parameters	Fiber Laser	CO ₂ Laser
Maximal output power / kW	4	3
Used output power / kW	3	3
Fiber Diameter / μm	50	-
Raw beam diameter / mm	-	22
Collimating length / mm	125	-
Focal length / mm	254	190
Nominal beam parameter product (BPP) / mm mrad	2.1	5.4
Beam quality factor M^2	602	1.6
Focal radius (86%) μm	50	85
Rayleigh length / mm	1.4	1.5

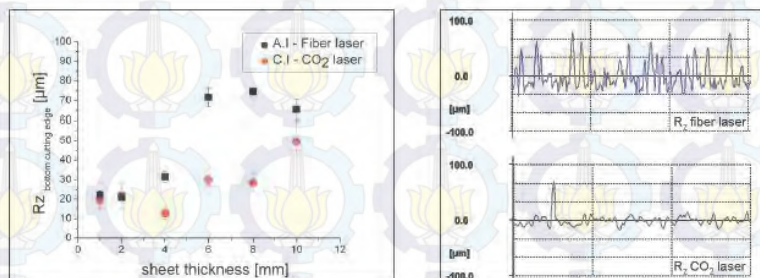
Dari pengujian tersebut didapat beberapa grafik yang mengimplementasiakn perbedaan CO₂ dan fiber laser cutting. Pada **gambar 2.22** grafik cutting speed maksimal dan detail kecepatan pada plat 6-10 mm, pada **gambar 2.23** menggambarkan tentang area celah pemotongan dan efisiensi thermal pada fiber dan CO₂ laser dan pada **gambar 2.24** menggambarkan tentang kekasaran rata-rata dari hasil pemotongan fiber dan co2 laser.



Gambar 2.22 cutting speed maksimal dan detail kecepatan makan pada plat 6-10 mm^[13]



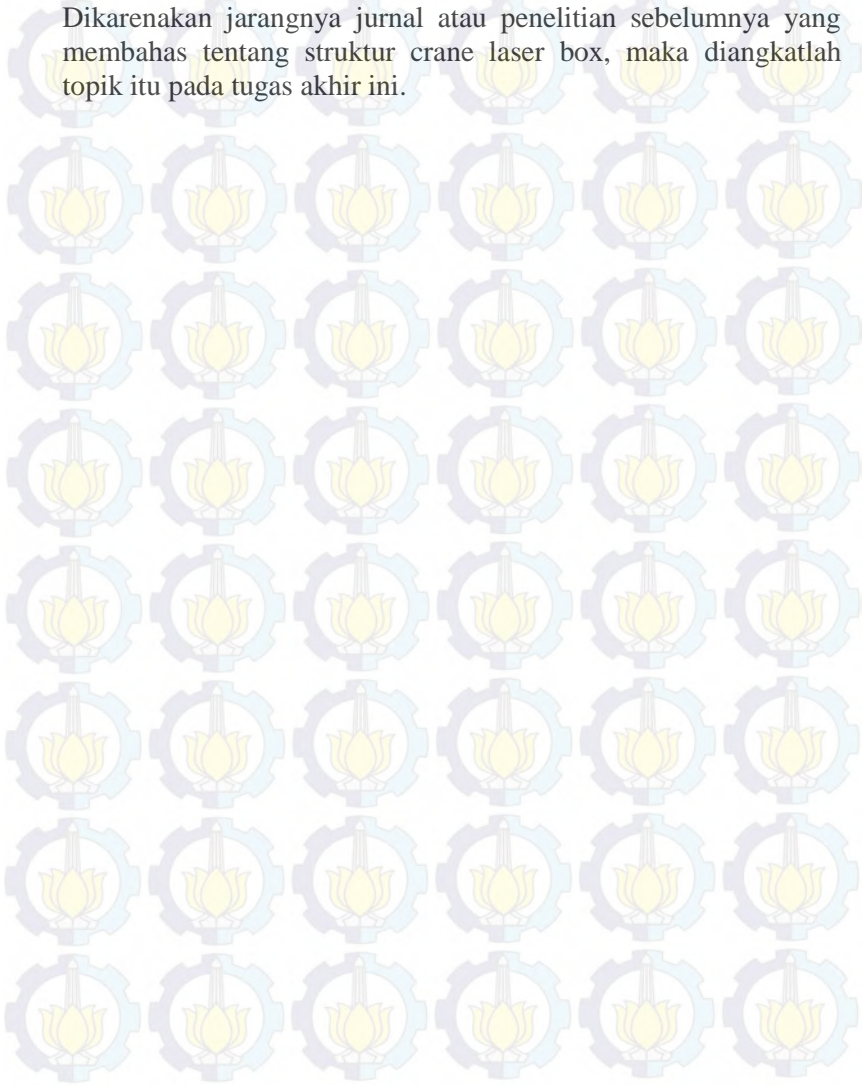
Gambar 2.23 area celah pemotongan dan efisiensi thermal pada fiber dan co2 laser^[13]



Gambar 2.24 kekasaran rata-rata dari hasil pemotongan fiber dan co2 laser^[13]

Dari eksperimen tersebut dilihat jika fiber laser lebih unggul dari pada CO₂ laser, dan mengharuskan untuk memiliki

perangkat pendukung yang lebih baik. Perangkat yang lebih baik ini yang dimaksudkan adalah penyangga dari laser tersebut. Dikarenakan jarangny jurnal atau penelitian sebelumnya yang membahas tentang struktur crane laser box, maka diangkatlah topik itu pada tugas akhir ini.

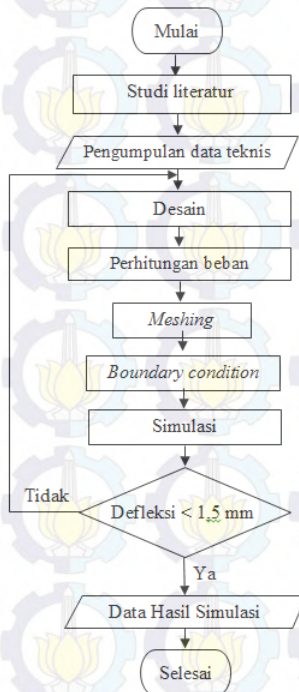


BAB III

METODOLOGI PERCOBAAN

Pada metodologi percobaan ini, akan dijelaskan diagram alir pengujian mulai dari studi literatur sampai mendapatkan data hasil simulasi. Lalu dilanjutkan dengan penjelasan beban beban yang bekerja pada struktur crane, yaitu beban vertikal, beban akibat akselerasi, dan beban akibat pengereman. Setelah itu dijelaskan pula tentang parameter analisa secara statis dan quasistatis serta yang terakhir akan menjelaskan tentang simulasi menggunakan *software Ansys*.

III.1. Diagram Alir Pengujian



Gambar3.1 diagram alir

Seperti dijelaskan pada **gambar 3.1.**, pengujian dalam tugas akhir ini didahului dengan Studi literatur pada berbagai sumber dan pengumpulan data teknis *Fiber laser cutting*. Selanjutnya adalah proses desain dari struktur crane laser box dengan menggunakan *software Autodesk Inventor 3D*. Langkah selanjutnya adalah perhitungan beban yang meliputi beban vertikal, akselerasi, dan pengereman. Setelah itu proses meshing dari desain menjadi elemen hingga sampai konvergen, selanjutnya menentukan boundary condition dari struktur crane setelah itu bisa disimulasikan. Hasil simulasi tersebut dinyatakan berhasil jika setiap perubahan kecepatan mendapatkan hasil defleksi dibawah dari parameter yang telah ditentukan. Dari video yang didapat, bisa dilihat bahwa terdapat koin yang diletakkan pada pinggir table dari mesin CNC tersebut. Dan koin tersebut tidak jatuh selama proses berlangsung.

Berdasarkan tujuan dari tugas akhir ini, diharapkan penelitian ini akan mampu mengevaluasi performa dari struktur crane laser box. Ada 3 jenis pembebanan pada tugas akhir ini :

1. Beban vertical.
2. Beban akibat akselerasi.
3. Beban akibat pengereman.

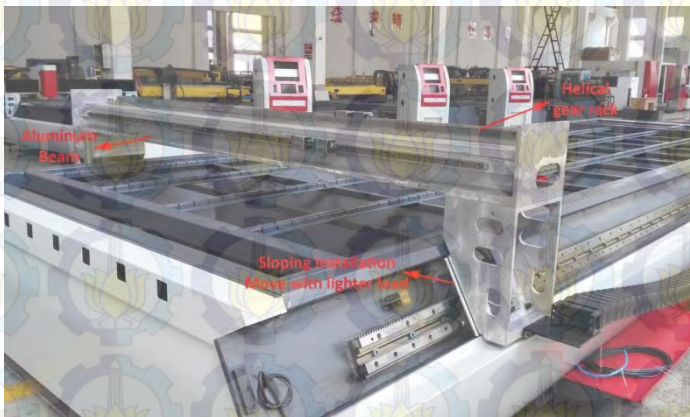
III.2. Proses Desain

Proses desain struktur *laser carrier* didahulukan dengan mencari ukuran-ukuran table yang akan dibuat. Ukuran table yang dipakai adalah ukuran table yang paling besar dengan ukuran panjang kali lebar 6000 x 2000 mm. dengan referensi dari gambar yang didapat penulis, maka bisa di desain dengan ukuran terbesar. Referensi mengacu pada mesin CNC Mars-JLM 3015 seperti **gambar 3.2.**



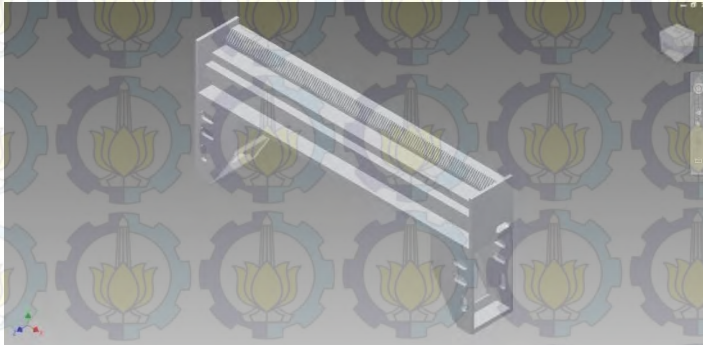
Gambar 3.2 Mesin CNC Mars-JLM3015

Dengan struktur dasar crane laser box seperti **gambar 3.3**.



Gambar 3.3 struktur dasar crane laser box

Dari referensi itulah maka, redesain dari struktur crane tersebut dilakukan dengan menggambar secara 3d di *software Autodesk Inventor* seerti **gambar 3.4**.



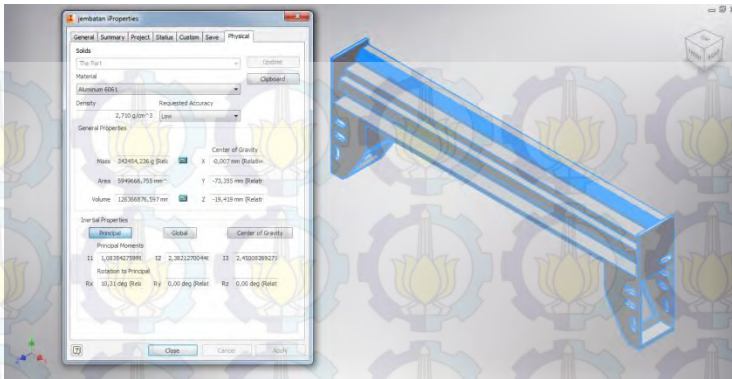
Gambar 3.4 desain struktur *crane laser box*

III.3. Perhitungan Beban

Analisa struktur crane laser box diberi beban secara vertical dan horizontal. Dimana gaya gaya tersebut akan bekerja pada *Center of Gravity* (CG) untuk gaya horizontal. Untuk gaya vertikal adalah gaya berat dari struktur crane tersebut dan gaya horizontal terdiri dari gaya akibat percepatan dan gaya akibat pengereman.

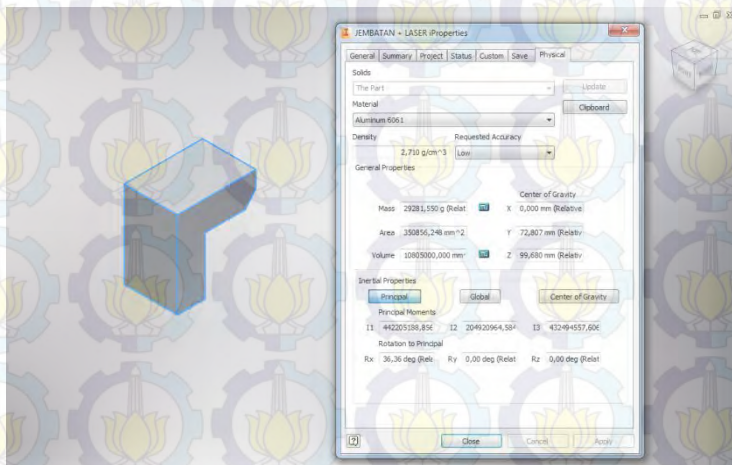
III.3.1. *Center of Gravity*

Pada proses mendesain dari struktur crane laser box ini menggunakan *software Autodesk Inventor* seperti gambar 3.5, bisa dilihat CG dari struktur crane tersebut. Dengan titik acuan (0,0,0) yang telah ditentukan dari *software Inventor* tersebut. Selain Cg dari laser carrier dibutuhkan juga CG dari *laser box* untuk posisi gaya berat dari laser box tersebut. Seperti **gambar 3.6** dimana CG dari *laser box* didapatkan dari *software Inventor* dengan titik acuan yang sama.



Gambar 3.5 *Center of Gravity struktur laser carrier*

Dari gambar 3.5 bisa dilihat CG dari struktur *laser carrier* tersebut (0,007; -73,355; -19,419) dari titik acuan (0,0,0).



Gambar 3.6 *Center of Gravity struktur laser box*

Dari gambar 3.6 bisa dilihat CG dari struktur *laser box* tersebut (0,00;72,807;99,68) dari titik acuan (0,0,0).

III.3.2. Beban Statis Vertikal

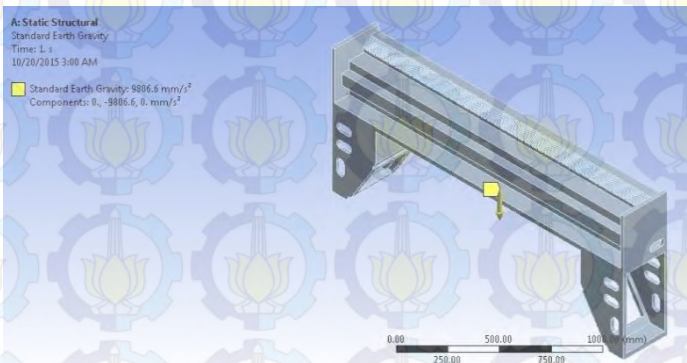
Beban vertikal dipengaruhi oleh massa-massa dari struktur *Laser carrier* yang dianggap menjadi satu, yaitu:

- a. Struktur dasar : 342,45 kg.
- b. Laser box : 30 kg.

Jadi total massa yang bekerja sebesar 372,45 kg. dengan mengansumsikan nilai grafitasi sebesar 9.8 m/s^2 .

$$W = \sum m \cdot g$$

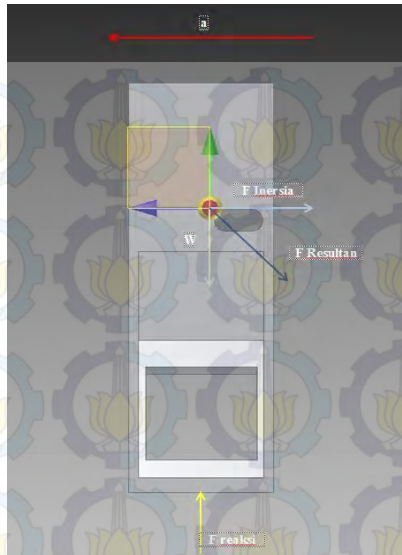
Beban vertikal ini bekerja ke seluruh body dari struktur *Laser carrier* seperti **gambar 3.7**.



Gambar 3.7 pembebanan vertikal oleh gaya berat

III.3.3. Beban Akibat Akselerasi

Akibat akselerasi, struktur *laser carrier* menerima beban inersia linier dari berat struktur *laser carrier* tersebut dan *laser box*, serta terdapat gaya berat yang telah dijelaskan pada **III.3.2** dan terdapat gaya tumpuan seperti gambar 3.8 berikut.



Gambar 3.8 *free body diagram* struktur *Laser carrier*

Pada **gambar 3.8** struktur *Laser carrier* diasumsikan menempuh jarak setengah panjang table yaitu 1.25 meter dengan kecepatan maksimal 72 m/menit (1,2 m/sekon). Maka dari asumsi tersebut dapat didapatkan percepatan dari perhitungan sebagai berikut:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

Keterangan:

v_t = kecepatan akhir atau kecepatan setelah t sekon (m/s).

v_0 = kecepatan awal (m/s) = 0.

a = percepatan (m/s^2).

s = jarak tempuh (m) .

$$a = \frac{v_t^2}{2 \cdot s}$$

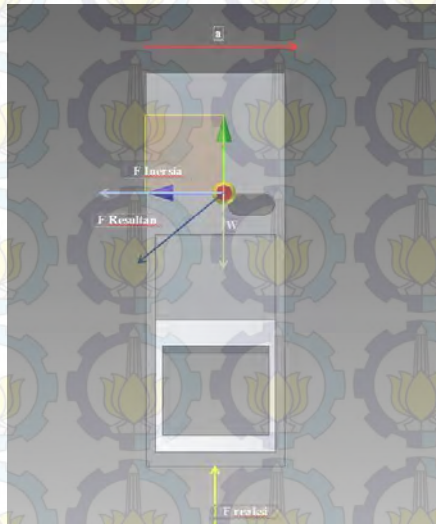
Dengan mengasumsikan akselerasi tersebut konstan, maka semua gaya-gaya dapat dihitung. Besar beban inersia dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{Inersia} = \sum ma$$

Dimana massa massa yang berpengaruh adalah massa dari struktur crane dan massa laser box dengan total sebesar 372,45 kg.

III.3.4. Beban Akibat Pengereman

Akibat akselerasi, struktur crane menerima beban inersia linier dari berat struktur crane tersebut dan laser box, serta terdapat gaya berat yang telah dijelaskan pada III.3.2 dan terdapat gaya tumpuan seperti gambar 3.9 berikut.



Gambar 3.9 *free body diagram* struktur crane

Pada **gambar 3.9** struktur crane laser box diasumsikan menempuh jarak setengah panjang table yaitu 1,25 meter dari kecepatan maksimal 72 m/menit (1,2 m/sekon) sampai berhenti (0 m/s). Maka dari asumsi tersebut dapat didapatkan percepatan dari perhitungan sebagai berikut:

$$v_t^2 = v_0^2 + 2 \cdot a \cdot s$$

Keterangan:

v_t = kecepatan akhir atau kecepatan setelah t sekon
(m/s) = 0 m/s.

v_0 = kecepatan awal (m/s).

a = percepatan (m/s²).

s = jarak tempuh (m) .

$$a = \frac{-v_0^2}{2 \cdot s}$$

Dengan mengasumsikan dekselerasi tersebut konstan, maka semua gaya-gaya dapat dihitung. Besar beban inersia dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$F_{Inersia} = \sum ma$$

Dimana massa massa yang berpengaruh adlah massa dari struktur crane dan massa laser box dengan total sebesar 372,45 kg.

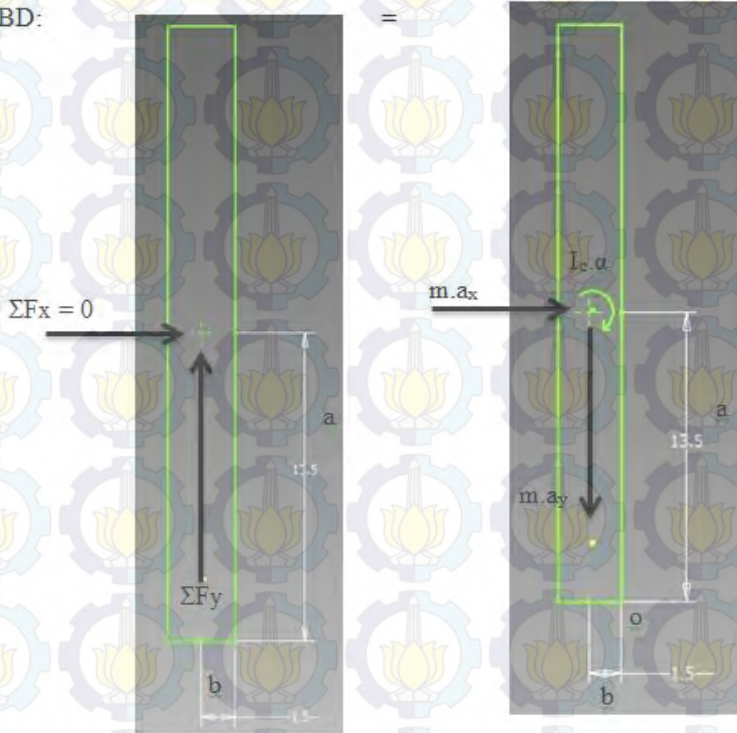
III.4. Parameter Analisa Statis dan Quasistatis

Analisa yang pertama yaitu analisa statis dimana menjadi parameter untuk defleksi maksimal yang diijinkan. Parameter

analisa statis ini diambil dari produk yang dihasilkan oleh *fiber laser cutting* yaitu sebesar 0,001 inci atau 25.4 μm .

Analisa kedua yaitu analisa Quasistatis, dimana parameter yang dilihat yaitu gaya yang bekerja ke koin sampai koin tersebut mencapai kondisi kritis seperti **gambar 3.10**. Dimana koin tersebut dikenai gaya yang mengakibatkan CG dari koin tersebut berpindah ke titik kritis. Dengan perhitungan inersia di titik o.

FBD:



Gambar 3.10 free body diagram koin pada analisa Quasistatik

$$F_x \cdot a + F_y \cdot b = I_c \cdot \alpha + m \cdot a_x \cdot a$$

$$F_y \cdot b = I_c \cdot \alpha + m \cdot a_x \cdot a$$

$$w \cdot b = 1/12 \cdot m \cdot r^2 \cdot \alpha + m \cdot a_x \cdot a$$

$$m \cdot g \cdot b = 1/12 \cdot m \cdot a^2 \cdot a_x/a + m \cdot a_x \cdot a$$

$$g \cdot b = 1/12 \cdot a \cdot a_x + a_x \cdot a$$

$$9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} = (1/12 \cdot 13,5 \cdot 10^{-3} \text{ m} + 13,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}) \cdot a_x$$

$$1,0051 \text{ m/s}^2 = a_x$$

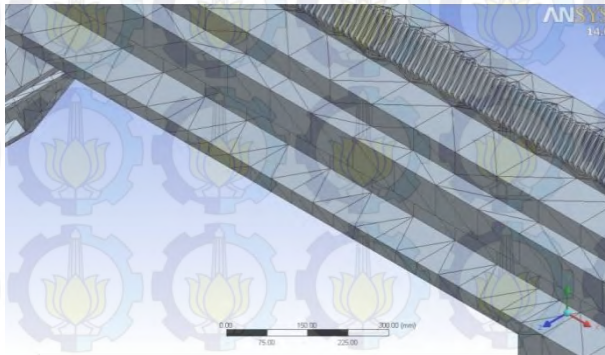
Dari perhitungan tersebut didapat a_x sebesar $1,0051 \text{ m/s}^2$. Dari parameter analisa quasistatik tersebut, maka a_x sebesar $1,0051 \text{ m/s}^2$ adalah sebagai batas maksimal dari laser carrier tersebut untuk melakukan percepatan atau perlambatan. Jadi parameter a_x hanya memastikan bahwa laser carrier melakukan percepatan atau perlambatan yang tidak mengakibatkan koin tersebut jatuh.

III.5. Simulasi

Pada proses simulasi umumnya dibagi menjadi 3 tahap, yaitu: *pre processor*, *processor*, dan *post processor*. *Preprocessor* merupakan tahap dimana data diinput, mulai dari *boundary condition* atau *domain* lainnya. Pada tahap yang sama juga dilakukan proses meshing. Tahap selanjutnya adalah *processor* tahap ini dilakukan proses perhitungan data-datainput dengan persamaan ang ada dengan iterative. Perhitungan dilakukan hingga mencapai hasil error terkecil atau nilainya konvergen. Tahap yang terakhir adalah *post processor* dimana hasil perhitungan diimplementasikan ke dalam gambar atau grafik dengan pola warna tertentu.

III.5.1. Meshing

Meshing dilakukan pada *software static structural* yang bertujuan untuk mengubah model 3d struktur crane menjadi elemen-elemen kecil yang terbatas jumlahnya (finite element). Elemen-elemen tersebut mempunyai beberapa node. Untuk elemen jenis tetrahedron, jumlah node-nya adalah 4 dan masing-masing node memiliki 3 dof. Elemen-elemen ini nantinya akan mempunyai model matematis yang akan diolah ketika proses simulasi. Adapun contoh meshing tetrahedron seperti **gambar 3.11** berikut:



Gambar 3.11 Meshing pada *software static structural*

III.5.2. Boundary Condition

Boundary condition merupakan kondisi-kondisi batas atau kontrol perhitungan yang dimasukkan sebelum dilakukan peletakan beban pada proses simulasi. *Boundary condition* diinput diawal untuk menjadi batas atau kontrol pada perhitungan selanjutnya. Setelah dilakukan proses penentuan *boundary condition* peletakan beban pada koordinat yang telah ditentukan dimasukkan. Serta penentuan titik – titik analisa (Probe) yang berjumlah 3 titik.

III.5.3. Simulasi

Simulasi pembebanan akan dilakukan pada *software static structural* dengan 3 pembebanan seperti yang telah dijelaskan yaitu beban vertikal, beban akibat akselerasi, dan beban akibat pengereman. Sebelum dilakukan running atau mulai perhitungan simulasi, dilakukan penentuan hasil yang diinginkan, dalam hal ini adalah nilai *equivalent stress von misses*, nilai defleksi, dan nilai *safety factor*.

III.6. Desain Eksperimen

Desain eksperimen yang dirancang untuk mempermudah mengolah data yang didapat. Desain eksperimen ini dibagi menjadi dua yaitu untuk mencari defleksi maksimal dan *Von Misses* dari pembebanan akibat akselerasi dan pembebanan akibat pengereman. Dengan memasukkan gaya vertikal atau gaya berat dari crane tersebut pada setiap pembebanan.

III.6.1. Pembebanan Akibat Gaya Akselerasi

Dalam pembebanan akibat gaya akselerasi ini, kecepatan menjadi parameter yang ditentukan, yaitu dari kecepatan 0 m/menit sampai mencapai kecepatan maksimal yaitu 72 m/menit dengan interval 10 m/menit. dimana kecepatan tersebut ditempuh pada jarak 3m. dari pembebanan tersebut didapat defleksi ke arah horizontal dan *von misses* pada setiap pembebanan seperti table 3.1 berikut:

Table 3.1 tabel hasil simulasi akibat beban akselerasi

No.	Kecepatan (m/menit)	Defleksi arah z	Total Defleksi	Von- Mises
1	0			
2	10			
3	20			
4	30			
5	40			
6	50			
7	60			
8	70			
9	72			

III.6.2. Pembebanan Akibat Gaya Pengereman

Dalam pembebanan akibat gaya pengereman ini, kecepatan menjadi parameter yang ditentukan, yaitu dari kecepatan 72 m/menit kecepatan 0 m/menit dengan interval 10 m/menit. dimana kecepatan tersebut ditempuh pada jarak 3m. dari pembebanan tersebut didapat defleksi kearah horizontal dan von mises pada setiap pembebanan seperti table 3.2 berikut:

Table 3.2 Tabel hasil simulasi akibat beban pengereman

No.	Kecepatan (m/menit)	Defleksi arah z	Total Defleksi	Von- Mises
1	0			
2	10			
3	20			
4	30			
5	40			
6	50			
7	60			
8	70			
9	72			

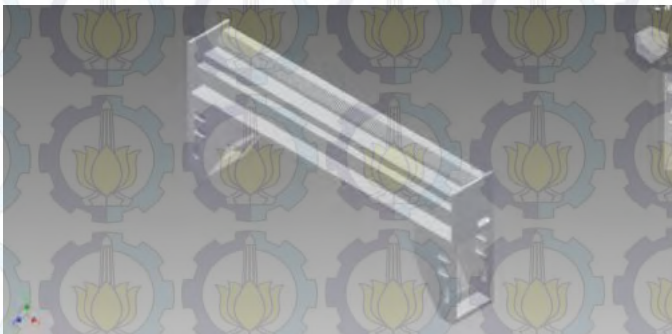
BAB IV

HASIL DAN ANALISA

Pada pembahasan hasil dan analisa akan dijelaskan awal proses desain dari *laser carrier* tersebut dan perhitungan dari beban yang bekerja pada *laser carrier*. Dalam pembahasan bab ini juga akan dibahas penentuan tumpuan pada laser carrier dan titik analisa atau yang disebut dengan probe, serta pembahasan dari masing masing data yang didapatkan pada simulasi tersebut. Analisa yang dilakukan mencakup analisa defleksi dan kekuatan tiap probe dimana tiap probe diberikan 2 perlakuan masing masing yaitu simulasi pertama tanpa gaya berat dan analisa kedua lengkap menggunakan gaya berat dan gaya inersia yang berlaku.

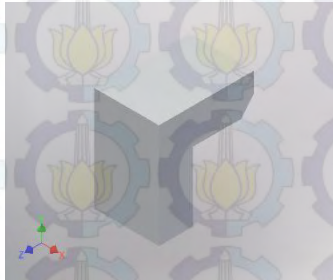
IV.1. Desain *Laser Carrier* dan *Laser Box*

Proses desain yang dilakukan mengacu kepada ukuran *table* yang digunakan, seperti yang telah dijelaskan pada BAB 3. Dengan ukuran meja yang sebesar 6000 x 2000 mm, maka proses desain bisa dilakukan dengan mengacu bentuk *laser carrier* dari modul yang ada. Hasil desain yang dilakukan bisa dilihat pada gambar 4.1.



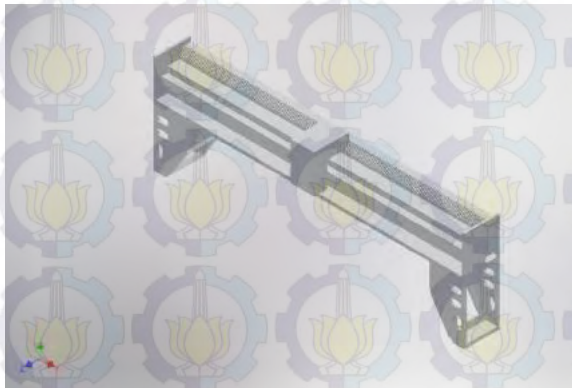
Gambar 4.1 desain final struktur *laser carrier*

Dengan ukuran panjang 2640 mm, lebar 300 mm, dan tinggi 850 mm. Desain tersebutlah yang nantinya dijadikan sebagai pemodelan yang akan disimulasikan dengan beban vertikal dan beban inersia akibat pengereman maupun percepatan. Untuk desain *laser box* hanya melalui pemodelan saja, dengan berat yang telah ditentukan seperti pada **gambar 4.2**.



Gambar 4.2 desain pemodelan *Laser box*

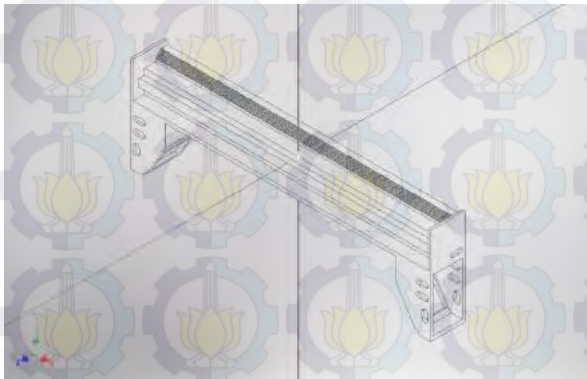
Pemodelan *Laser box* mempunyai ukuran panjang 200 mm, lebar 295 mm dan tinggi 325mm, serta berat yang telah ditentukan yaitu 30 kg. Dengan demikian pemodelan *laser carrier* dan *laser box* jika dijadikan satu seperti **gambar 4.3**.



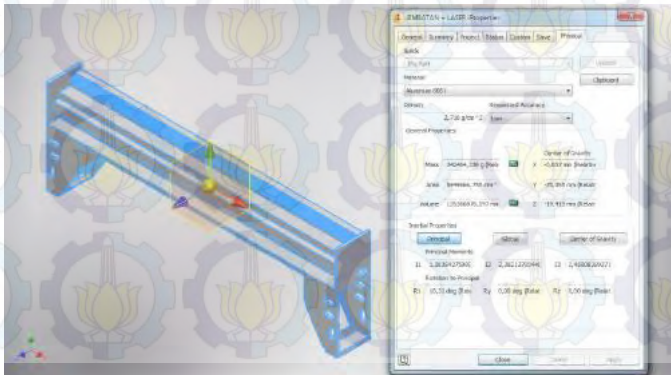
Gambar 4.3 desain pemodelan *Laser carrier* dan *Laser box*

IV.2. *Center of Gravity (CG) Laser Carrier dan Laser Box*

Penentuan CG dari laser carrier bertujuan sebagai posisi diletakkannya gaya inersia akibat percepatan dan pengereman. Penentuan CG dari *laser box* bertujuan sebagai posisi letak gaya berat dari *laser box* tersebut. Penentuan CG didapat dari Software Inventor dengan titik acuan (0,0,0) dari Software Inventor seperti **gambar 4.4**. Penentuan CG dari *Laser carrier* bisa dilihat pada **gambar 4.5**.

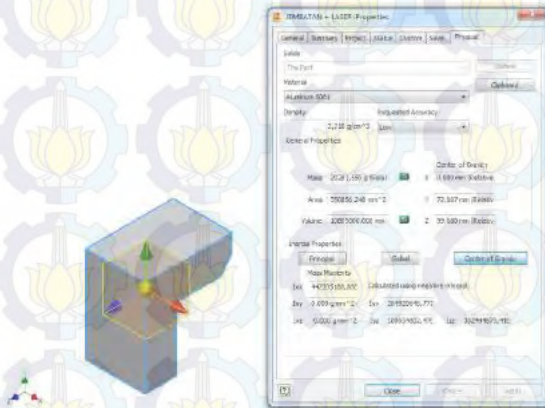


Gambar 4.4 posisi (0,0,0) dari *laser carrier* dan *laser box*



Gambar 4.5Center of gravity *Laser Carrier*

Dari gambar diatas didapat CG sebesar $(-0,007; -73,355; -19,419)$ dari titik acuan $(0,0,0)$. Dan penentuan CG *Laser Box* bisa dilihat dari **gambar 4.6**.



Gambar 4.6 Center of gravity Laser box

Dari gambar diatas didapat CG dari *Laser Box* $(0,00;72,807;99,68)$ dari titik acuan $(0,0,0)$. Dan dari CG tersebut bisa diletakkan gaya gaya yang bekerja pada CG masing – masing. Dimana CG dari *Laser carrier* menerima gaya inersia akibat percepatan maupun akibat pengereman. Dan pada koordinat titik CG *Laser box* akan menerima gaya berat dari *Laser Box* tersebut.

IV.3. Beban Statis Vertikal

Beban statis vertikal dipengaruhi oleh massa dari *laser carrier* dan massa dari *laser box*. Pada simulasi ini, gaya berat yang dipengaruhi masa laser carrier bisa menggunakan tools yang disediakan pada software ANSYS yang kami gunakan. Sehingga tidak perlu dilakukan perhitungan pada pembebanan statis vertikal pada laser carrier. Beban statis vertikal pada laser carrier dapat dihitung dengan persamaan pada BAB 3, dengan perhitungan sebagai berikut:

Diketahui: massa laser box : 30 kg.

Percepatan gravitasi bumi : $9,81 \text{ m/s}^2$.

Menggunakan rumus, $W = \sum m \cdot g$, maka:

$$W = \sum m \cdot g$$

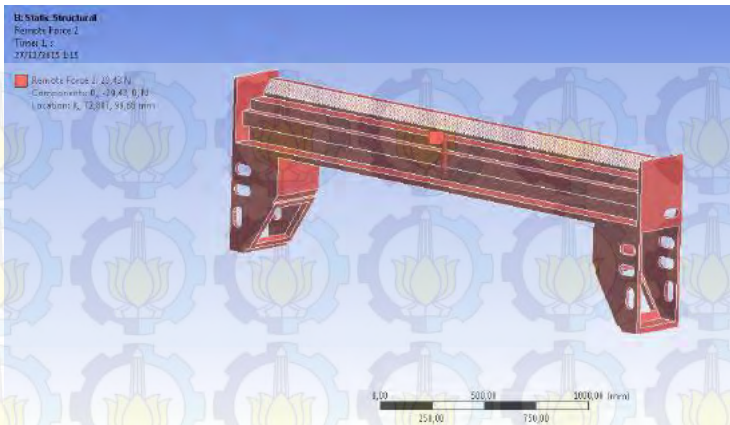
$$W = 30 \text{ kg} \cdot 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$W = 294,3 \text{ kg m/s}^2$$

Jadi beban statis yang diterima laser carrier sebesar 294.3 N. Beban tersebut diletakkan pada CG dari laser box (0,00;72,807;99,68). Beban laser carrier bisa dilihat pada **gambar 4.7** dan pembebanan laser box bisa dilihat pada **gambar 4.8**.



Gambar 4.7 pembebanan *laser carrier* pada software ANSYS



Gambar 4.8 pembebanan *laser box* pada *software* ANSYS

IV.4. Beban Akibat Percepatan

Pada beban akselerasi ini, diasumsikan bahwa *laser carrier* bergerak dari keadaan diam hingga kecepatan tertentu menempuh jarak 1,25 meter. Parameter 1,25 meter ini didapat dari jarak yang ditempuh *laser carrier*. Panjang *table* yang digunakan memiliki panjang total 6 meter dengan asumsi 1 meter tidak digunakan karena menjadi tebal dari *laser carrier* dan *casing* dari *table* tersebut. Posisi *base home* dari *laser carrier* ini juga berada ditengah, jadi *laser carrier* bisa bergerak kedepan dan kebelakang dengan jarak maksimal 2,5 meter. Oleh karena itu *laser carrier* membutuhkan jarak 1,25 meter untuk percepatan dan 1,25 meter untuk perlambatan. Dengan variasi kecepatan yaitu 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 72 m/menit. Perhitungan menggunakan rumus gerak lurus berubah beraturan seperti yang telah dijelaskan pada BAB 2. Perhitungan beban inersia akibat percepatan dapat ditentukan dengan mencari percepatan gerak *laser carrier* terlebih dahulu, contoh perhitungan sebagai berikut:

Diketahui :

kecepatan awal v_0 : 0 m/s^2 .

Kecepatan akhir v_t : 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 72
m/menit.

: 0; 0.17; 0.33; 0.5; 0.67; 0.83; 1.00; 1.17; 1.2 m/s

Jarak s : 1,25 m.

Massa laser carrier : 342,45 kg.

Massa laser box : 30 kg.

Dengan menggunakan rumus, $a = \frac{v_t^2}{2.s}$, maka didapatkan percepatan. Contoh perhitungan dengan menggunakan v_t sebesar 10 m/menit (0.17 m/s)

$$a = \frac{v_t^2}{2.s}$$

$$a = \frac{0,17^2}{2 \cdot 1,25} = 0,01 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

Setelah percepatan a didapat, maka F bisa dicari menggunakan rumus:

$$F_{Inersia} = \sum ma$$

Dimana massa yang digunakan adalah massa laser carrier dan massa laser box.

Contoh perhitungan sebagai berikut:

$$F_{Inersia} = (342,25 + 30) \text{kg} \cdot 0.01 \text{ m/s}^2$$

$$F_{Inersia} = 372,25 \text{ kg} \cdot 0.01 \text{ m/s}^2$$

$$F_{Inersia} = 4,14 \text{ kg m/s}^2$$

Dari perhitungan tersebut didapat F inersia sebesar 4,14 kg.m/s² (4,14 N). Maka semua gaya inersia bisa dilihat pada **tabel 4.1** dibawah.

Tabel 4.1 gaya inersia akibat percepatan.

v0 (m/min)	vt (m/min)	vt (m/s)	a (m/s ²)	F inersia (N)
0	0	0,00	0,00	0,00
0	10	0,17	0,01	4,14
0	20	0,33	0,04	16,55
0	30	0,50	0,10	37,25
0	40	0,67	0,18	66,21
0	50	0,83	0,28	103,46
0	60	1,00	0,40	148,98
0	70	1,17	0,54	202,78
0	72	1,20	0,58	214,53

IV.5. Beban Akibat Perlambatan

Pada beban perlambatan ini, diasumsikan bahwa *laser carrier* bergerak dari kecepatan tertentu hingga keadaan diam menempuh jarak 1.25 meter seperti yang dijelaskan pada beban akibat percepatan. Dengan variasi kecepatan awal yaitu 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 72 m/menit. Perhitungan menggunakan rumus gerak lurus berubah beraturan seperti yang telah dijelaskan pada BAB 2. Perhitungan beban akibat percepatan dapat ditentukan dengan mencari percepatan gerak laser carrier terlebih dahulu, contoh perhitungan sebagai berikut:

Diketahui :

kecepatan awal v_0 : 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 72 m/menit.

: 0; 0.17; 0.33; 0.5; 0.67; 0.83; 1.00; 1.17; 1.2 m/s

Kecepatan akhir v_t : 0 m/menit.

Jarak s : 1,25 m.

Massa laser carrier : 342,45 kg.

Massa laser box : 30 kg.

Dengan menggunakan rumus, $a = \frac{-v_0^2}{2.s}$, maka didapatkan percepatan. Contoh perhitungan dengan menggunakan v_t sebesar 10 m/menit (0.17 m/s)

$$a = \frac{-v_0^2}{2.s}$$

$$a = \frac{-0,17^2}{2 \cdot 1,25} = -0,01 \frac{m}{s^2}$$

Setelah percepatan a didapat dimana nilai minus (-) menandakan sebuah perlambatan, maka F bisa dicari menggunakan rumus:

$$F_{Inersia} = \sum ma$$

Dimana massa yang digunakan adalah massa laser carrier dan massa laser box. Contoh perhitungan sebagai berikut:

$$F_{Inersia} = (342,25 + 30)kg \cdot -0.01 \text{ m/s}^2$$

$$F_{Inersia} = 372,25 \text{ kg} \cdot -0.01 \text{ m/s}^2$$

$$F_{Inersia} = -4,14 \text{ kg m/s}^2$$

Dari perhitungan tersebut didapat F inersia sebesar -4,14 kg.m/s² (4,14 N). Tanda minus tersebut menandakan arah gaya yang berlawanan dari arah gerak. Maka semua gaya inersia bisa dilihat pada **tabel 4.2** dibawah.

Tabel 4.2 gaya inersia akibat perlambatan.

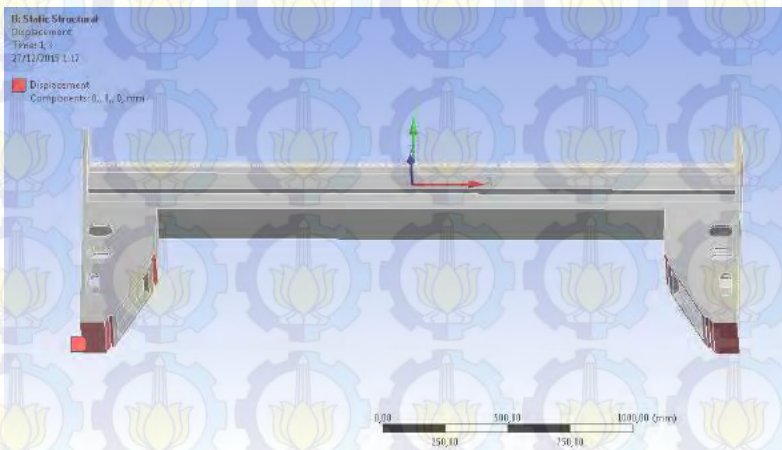
vt (m/min)	vo (m/min)	vo (m/s)	a (m/s ²)	F inersia (N)
0	0	0,00	0,00	0,00
0	10	0,17	-0,01	-4,14
0	20	0,33	-0,04	-16,55
0	30	0,50	-0,10	-37,25
0	40	0,67	-0,18	-66,21
0	50	0,83	-0,28	-103,46
0	60	1,00	-0,40	-148,98
0	70	1,17	-0,54	-202,78
0	72	1,20	-0,58	-214,53

IV.6. *Boundary Condition*

Boundary condition merupakan kondisi-kondisi batas atau kontrol perhitungan yang dimasukkan sebelum dilakukan peletakan beban pada proses simulasi. *Boundary condition* diinput diawal untuk menjadi batas atau kontrol pada perhitungan selanjutnya. *Boundary conditon* meliputi penentuan dari tumpuan dan penentuan titik yang akan dianalisa atau yang disebut PROBE.

IV.6.1. Penentuan Tumpuan

Tumpuan adalah hal yang sangat penting pada proses simulasi ini. Tumpuan yang dipakai pada ANSYS adlah tumpuan tipe *Displacement* dengan displacement pada korrdinat (x,y,z) adalah (0,0,0). Seperti yang ditunjukkan pada **gambar 4.9**.



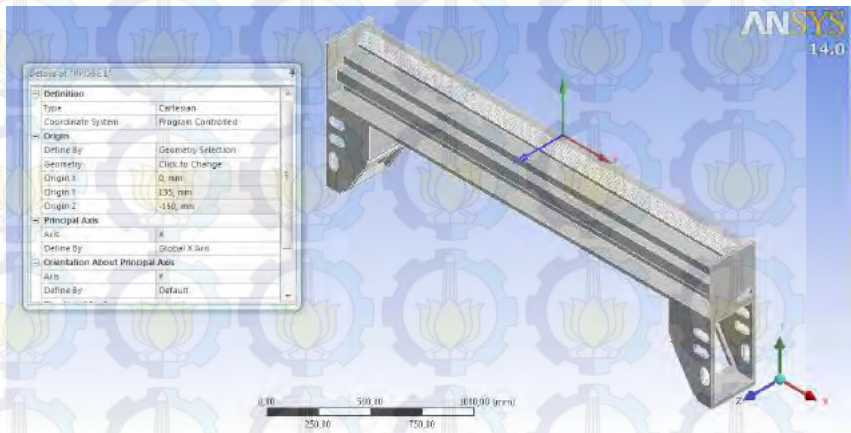
Gambar 4.9 tumpuan *Laser carrier* pada *software ANSYS*

IV.6.2. Penentuan Titik Analisa (PROBE)

Penetuan titik analisa bertujuan untuk mengetahui pengaruh gaya – gaya yang bekerja pada salah satu titik. Pada simulai ini dibagi menjadi 3 titik probe, dimana titik tersebut berada pada koordinat yang telah ditentukan.

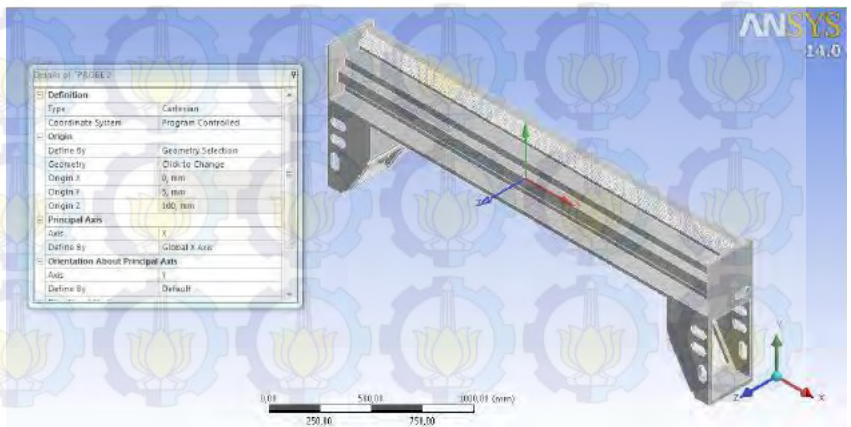
Probe 1 berada pada pertengahan laser carrier bagian atas belakang. Dimana tepat dibelakang rack lintasan *laser box*

bergerak. Probe 1 berada pada koordinat (0,135,-150) seperti gambar 4.10 dibawah.



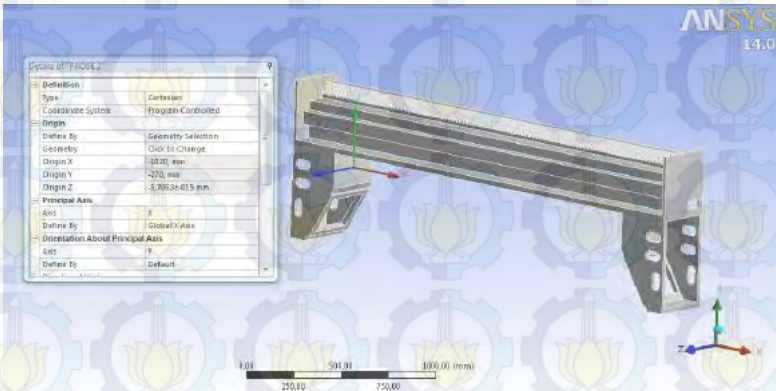
Gambar 4.10 posisi probe 1

Probe 2 berada pada pertengahan *laser carrier* bagian atas depan. Dimana tepat pada bagian dimana *laser box* menempel. Probe 2 berada pada koordinat (0,5,100) seperti gambar 4.11 dibawah.



Gambar 4.11 posisi *probe* 2

Probe 3 berada pada pertengahan sisi dalam penyangga laser carrier. Probe 3 berada pada koordinat $(-1020, -270, 0)$ seperti **gambar 4.12** dibawah.



Gambar 4.12 posisi *probe* 3

IV.7. Data Hasil Simulasi

Setelah melakukan simulasi dengan parameter yang telah dijelaskan diatas, maka didapat data yang diinginkan. Data yang dibutuhkan untuk Tugas Akhir ini adalah data defleksi secara total, defleksi kearah z dan kekuatan (von mises). Data ini terbagi menjadi 3 probe dimana masing – masing probe dibagi menjadi dua, yaitu analisa probe tanpa gaya berat dan analisa probe dengan melibatkan gaya berat maupun gaya inersi. Dimana pembagian menjadi dua ini bertujuan untuk melihat seberapa besar pengaruh gaya inersia maupun gaya berat terhadap laser carrier ini. Berikut adalah data hasil simulasi.

Data pertama adalah data dari Probe 1. Dimana data tersebut terdiri dari saat LASER Carrier mengalami percepatan dan mengalami perlambatan.

Tabel 4.3 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Percepatan pada *Probe 1*

Parameter				Gaya Inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,1070E-02	1,8756E-02	0,15379
10	0,17	0,01	4,14	-3,3032E-05	3,5889E-05	1,7903E-04	-1,1103E-02	1,8787E-02	0,15361
20	0,33	0,04	16,55	-13,2050E-05	14,3470E-05	7,1570E-04	-1,1202E-02	1,8880E-02	0,15307
30	0,50	0,10	37,25	-29,7210E-05	32,2910E-05	16,1090E-04	-1,1367E-02	1,9034E-02	0,15218
40	0,67	0,18	66,21	-52,8270E-05	57,3960E-05	28,6320E-04	-1,1598E-02	1,9251E-02	0,15092
50	0,83	0,28	103,46	-82,5480E-05	89,6880E-05	44,7410E-04	-1,1896E-02	1,9532E-02	0,14931
60	1,00	0,40	148,98	-118,8700E-05	129,1500E-05	64,4260E-04	-1,2259E-02	1,9876E-02	0,14735
70	1,17	0,54	202,78	-161,7900E-05	175,7900E-05	87,6920E-04	-1,2688E-02	2,0286E-02	0,14502
72	1,20	0,58	214,53	-171,1700E-05	185,9700E-05	92,7730E-04	-1,2782E-02	2,0376E-02	0,14451

Tabel 4.4 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 1*

Parameter				Gaya Inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,1070E-02	1,8756E-02	0,15379
10	0,17	0,01	4,14	3,3032E-05	3,5889E-05	1,7903E-04	-1,1037E-02	1,8725E-02	0,15397
20	0,33	0,04	16,55	13,2050E-05	14,3470E-05	7,1570E-04	-1,0938E-02	1,8633E-02	0,15450
30	0,50	0,10	37,25	29,7210E-05	32,2910E-05	16,1090E-04	-1,0773E-02	1,8480E-02	0,15540
40	0,67	0,18	66,21	52,8270E-05	57,3960E-05	28,6320E-04	-1,0542E-02	1,8266E-02	0,15665
50	0,83	0,28	103,46	82,5480E-05	89,6880E-05	44,7410E-04	-1,0245E-02	1,7992E-02	0,15826
60	1,00	0,40	148,98	118,8700E-05	129,1500E-05	64,4260E-04	-9,8814E-03	1,7659E-02	0,16023
70	1,17	0,54	202,78	161,7900E-05	175,7900E-05	87,6920E-04	-9,4522E-03	1,7270E-02	0,16256
72	1,20	0,58	214,53	171,1700E-05	185,9700E-05	92,7730E-04	-9,3584E-03	1,7185E-02	0,16306

Data kedua adalah data dari *Probe 2*. Dimana data tersebut terdiri dari saat *LASER Carrier* mengalami percepatan dan mengalami perlambatan.

Tabel 4.5 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Percepatan pada *Probe 2*

Parameter				Gaya Inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,5525E-03	1,1612E-02	0,18387
10	0,17	0,01	4,14	-2,5856E-05	2,5861E-05	3,4388E-04	-7,5784E-03	1,1630E-02	0,18421
20	0,33	0,04	16,55	-10,3360E-05	10,3380E-05	13,7470E-04	-7,6559E-03	1,1681E-02	0,18524
30	0,50	0,10	37,25	-23,2640E-05	23,2680E-05	30,9410E-04	-7,7852E-03	1,1768E-02	0,18696
40	0,67	0,18	66,21	-41,3510E-05	41,3580E-05	54,9960E-04	-7,9660E-03	1,1891E-02	0,18937
50	0,83	0,28	103,46	-64,6150E-05	64,6260E-05	85,9370E-04	-8,1987E-03	1,2051E-02	0,19246
60	1,00	0,40	148,98	-93,0440E-05	93,0610E-05	123,7500E-04	-8,4830E-03	1,2250E-02	0,19624
70	1,17	0,54	202,78	-126,6400E-05	126,6700E-05	168,4400E-04	-8,8190E-03	1,2490E-02	0,20071
72	1,20	0,58	214,53	-133,9800E-05	134,0100E-05	178,2000E-04	-8,8923E-03	1,2543E-02	0,20169

Tabel 4.6 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 2*

Parameter				Gaya Inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,5525E-03	11,6120E-03	0,18387
10	0,17	0,01	4,14	2,5856E-05	2,5861E-05	3,4388E-04	-7,5267E-03	11,5950E-03	0,18353
20	0,33	0,04	16,55	10,3360E-05	10,3380E-05	13,7470E-04	-7,4429E-03	11,5440E-03	0,18250
30	0,50	0,10	37,25	23,2640E-05	23,2680E-05	30,9410E-04	-7,3199E-03	11,4590E-03	0,18078
40	0,67	0,18	66,21	41,3510E-05	41,3580E-05	54,9960E-04	-7,1390E-03	11,3420E-03	0,17837
50	0,83	0,28	103,46	64,6150E-05	64,6260E-05	85,9370E-04	-6,9064E-03	11,1930E-03	0,17528
60	1,00	0,40	148,98	93,0440E-05	93,0610E-05	123,7500E-04	-6,6221E-03	11,0160E-03	0,17150
70	1,17	0,54	202,78	126,6400E-05	126,6700E-05	168,4400E-04	-6,2861E-03	10,8120E-03	0,16703
72	1,20	0,58	214,53	133,9800E-05	134,0100E-05	178,2000E-04	-6,2127E-03	10,7680E-03	0,16605

Data ketiga adalah data dari Probe 3. Dimana data tersebut terdiri dari saat LASER Carrier mengalami percepatan dan mengalami perlambatan.

Tabel 4.7 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Percepatan pada *Probe 3*

Parameter				Gaya Inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0586E-07	7377,9E-07	0,4317
10	0,17	0,01	4,14	-1,6271E-06	1,6359E-06	6,2506E-04	-7,2123E-07	7379,6E-07	0,4318
20	0,33	0,04	16,55	-6,5044E-06	6,5397E-06	24,9870E-04	-55,9850E-07	7384,9E-07	0,4321
30	0,50	0,10	37,25	-14,6400E-06	14,7190E-06	56,2400E-04	-137,3400E-07	7394,4E-07	0,4326
40	0,67	0,18	66,21	-26,0220E-06	26,1630E-06	99,9640E-04	-251,1600E-07	7409,1E-07	0,4333
50	0,83	0,28	103,46	-40,6610E-06	40,8820E-06	156,2000E-04	-397,5500E-07	7430,7E-07	0,4343
60	1,00	0,40	148,98	-58,5510E-06	58,8690E-06	224,9300E-04	-576,4500E-07	7460,9E-07	0,4356
70	1,17	0,54	202,78	-79,6960E-06	80,1280E-06	306,1600E-04	-787,9000E-07	7502,1E-07	0,4372
72	1,20	0,58	214,53	-84,3130E-06	84,7710E-06	323,9000E-04	-834,0800E-07	7511,8E-07	0,4376

Tabel 4.8 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 3*

Parameter				Gaya inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0586E-07	7377,9E-07	0,4317
10	0,17	0,01	4,14	1,6271E-06	1,6359E-06	6,2506E-04	25,3290E-07	7376,2E-07	0,4363
20	0,33	0,04	16,55	6,5044E-06	6,5397E-06	24,9870E-04	74,1020E-07	7371,5E-07	0,4314
30	0,50	0,10	37,25	14,6400E-06	14,7190E-06	56,2400E-04	155,4600E-07	7364,3E-07	0,4310
40	0,67	0,18	66,21	26,0220E-06	26,1630E-06	99,9640E-04	269,2700E-07	7355,8E-07	0,4304
50	0,83	0,28	103,46	40,6610E-06	40,8820E-06	156,2000E-04	415,6700E-07	7347,5E-07	0,4297
60	1,00	0,40	148,98	58,5510E-06	58,8690E-06	224,9300E-04	594,5700E-07	7341,3E-07	0,4290
70	1,17	0,54	202,78	79,6960E-06	80,1280E-06	306,1600E-04	806,0100E-07	7339,6E-07	0,4284
72	1,20	0,58	214,53	84,3130E-06	84,7710E-06	323,9000E-04	852,1900E-07	7340,1E-07	0,4282

Data – data diatas lah yang akan dibahas mengenai kemampuan dari *LASER Carrier* menerima beban statis maupun beban dinamis berupa beban inersia akibat percepatan maupun perlambatan.

IV.8. Analisa Data

Analisa ini memiliki tujuan utama yaitu untuk mencari informasi mengenai defleksi yang terjadi pada *LASER Carrier* jika dikenai beban statis vertikal berupa beban berat dari *Laser Carrier* maupun dari *Laser Box*. Beban yang mempengaruhi juga beban inersia akibat percepatan dan akibat perlambatan. Analisa ini juga untuk mencari kekuatan dari *laser carrier*. Analisa ini

juga difokuskan pada 3 titik atau *Probe* yang telah dipilih, dimana *probe* 1 dan *probe* 2 dipilih pada posisi di tengah – tengah dari lintasan laser box bergerak secara horizontal, dimana kita tahu bahwa posisi ditengah adalah posisi defleksi terbesar akibat suatu gaya pada suatu beam. Dan *probe* 3 berada pada posisi dekat dengan tumpuan yang memiliki tegangan von mises yang besar. Analisa ini juga memiliki 2 variasi yaitu simulasi dilakukan dengan hanya beban vertikal dan simulasi dilakukan dengan beban vertikal dan beban inersia. Dimana variasi ini bertujuan untuk mengetahui dampak dari beban vertikal itu sendiri dan beban inersia. Dengan analisa yang bertujuan untuk mengetahui defleksi pada saat pengereman dan percepatan saat mesin CNC ini berjalan, maka Probe 2 yang dijadikan acuan untuk mengetahui defleksi ini. Kenapa probe 2 dikarenakan posisi probe 2 yang mempunyai kontak secara langsung dengan *laser box*.

IV.8.1. Analisa Data Probe 1

Hasil dari simulasi Probe 1 bisa dilihat pada **tabel 4.9** dan **tabel 4.10** berikut. Dimana data tersebut dibagi menjadi 2 yaitu saat mengalami percepatan dan saat mengalami perlambatan.

Tabel 4.9 data hasil simulasi pada Probe 1 saat mengalami percepatan

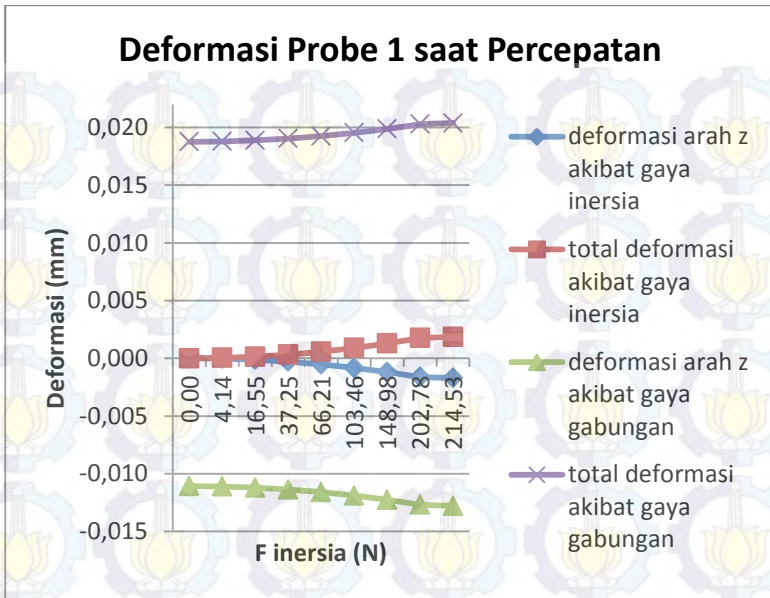
Parameter				Gaya inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,1070E-02	1,8756E-02	0,15379
10	0,17	0,01	4,14	-3,3032E-05	3,5889E-05	1,7903E-04	-1,1103E-02	1,8787E-02	0,15361
20	0,33	0,04	16,55	-13,2050E-05	14,3470E-05	7,1570E-04	-1,1202E-02	1,8880E-02	0,15307
30	0,50	0,10	37,25	-29,7210E-05	32,2910E-05	16,1090E-04	-1,1367E-02	1,9034E-02	0,15218
40	0,67	0,18	66,21	-52,8270E-05	57,3960E-05	28,6320E-04	-1,1598E-02	1,9251E-02	0,15092
50	0,83	0,28	103,46	-82,5480E-05	89,6880E-05	44,7410E-04	-1,1896E-02	1,9532E-02	0,14931
60	1,00	0,40	148,98	-118,8700E-05	129,1500E-05	64,4260E-04	-1,2259E-02	1,9876E-02	0,14735
70	1,17	0,54	202,78	-161,7900E-05	175,7900E-05	87,6920E-04	-1,2688E-02	2,0286E-02	0,14502
72	1,20	0,58	214,53	-171,1700E-05	185,9700E-05	92,7730E-04	-1,2782E-02	2,0376E-02	0,14451

Tabel 4.10 data hasil simulasi pada *Probe 1* saat mengalami perlambatan

Parameter				Gaya inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-1,1070E-02	1,8756E-02	0,15379
10	0,17	0,01	4,14	3,3032E-05	3,5889E-05	1,7903E-04	-1,1037E-02	1,8725E-02	0,15397
20	0,33	0,04	16,55	13,2050E-05	14,3470E-05	7,1570E-04	-1,0938E-02	1,8633E-02	0,15450
30	0,50	0,10	37,25	29,7210E-05	32,2910E-05	16,1090E-04	-1,0773E-02	1,8480E-02	0,15540
40	0,67	0,18	66,21	52,8270E-05	57,3960E-05	28,6320E-04	-1,0542E-02	1,8266E-02	0,15665
50	0,83	0,28	103,46	82,5480E-05	89,6880E-05	44,7410E-04	-1,0245E-02	1,7992E-02	0,15826
60	1,00	0,40	148,98	118,8700E-05	129,1500E-05	64,4260E-04	-9,8814E-03	1,7659E-02	0,16023
70	1,17	0,54	202,78	161,7900E-05	175,7900E-05	87,6920E-04	-9,4522E-03	1,7270E-02	0,16256
72	1,20	0,58	214,53	171,1700E-05	185,9700E-05	92,7730E-04	-9,3584E-03	1,7185E-02	0,16306

IV.8.1.1. Analisa Defleksi Probe 1

Pada analisa ini ada 2 parameter yaitu saat *laser carrier* mengalami percepatan dan mengalami perlambatan, dimana masing masing memiliki variasi yaitu dengan hanya gaya inersia dan gaya - gaya yang melibatkan gaya berat serta gaya inersia. Seperti dilihat pada gambar grafik berikut. **gambar 4.13** menunjukkan grafik deformasi pada probe 1 saat mengalami percepatan.

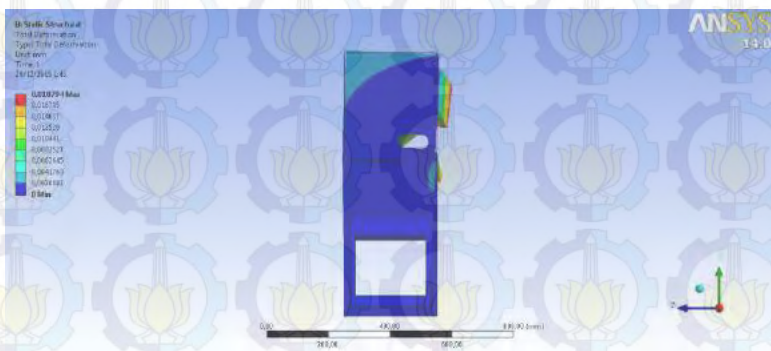


Gambar 4.13 grafik defleksi hasil simulasi pada *Probe 1* saat mengalami percepatan

Persamaan defleksi secara dasar ($\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$), dimana semakin besar gaya maka defleksi yang terjadi akan semakin besar juga, persamaan defleksi tersebut adalah dimana defleksi yang dicari adalah defleksi total. Dengan menggunakan analisa finite element dalam simulasi kali ini, maka akan didapat juga defleksi dalam berbagai sumbu. Sumbu x, y, dan z bisa didapat pada simulasi ini. Pada hasil tersebut, didapat defleksi kearah z terbesar jika hanya menggunakan gaya inersia adalah sebesar -171,1700E-05 mm dimana tanda minus hanya sebagai penunjuk koordinat dan mengartikan bahwa defleksi menuju arah berlawanan dari arah percepatan. Dan defleksi terkecil kearah z adalah -3,3032E-05 mm pada gaya inersia sebesar 4,14 N. Untuk defleksi total terbesar sebesar 185,97E-05 mm dan terkecil sebesar 3,5889E-05 mm. Defleksi yang terjadi masih terbilang

aman karena parameter maksimal yang ditentukan adalah sebesar 25,4 μm atau 0,0254 mm.

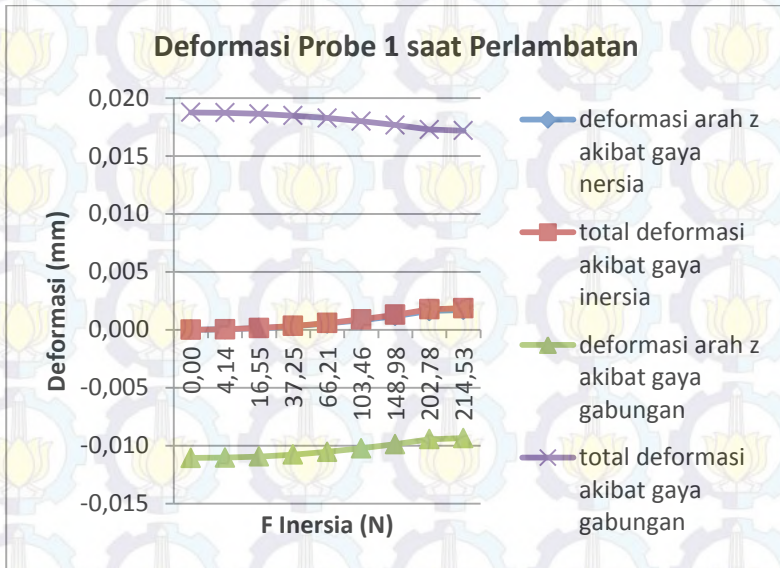
Untuk defleksi pada beban inersia dan beban vertikal mengalami tren naik juga. Dimana defleksi terbesar ke arah z adalah -12,782E-03 mm dan defleksi terkecil sebesar --11,103E-03 mm. Untuk defleksi total terbesar 20,376E-03 mm dan defleksi total terkecil sebesar 18,787E-03 mm. untuk defleksi arah z jika hanya menggunakan gaya berat sebesar --11,070E-03 mm dan defleksi total sebesar 18,756E-03 mm. jika dilihat defleksi ke arah z tanpa gaya inersia lebih besar dari defleksi yang menggunakan beban lengkap lebih besar. Pada defleksi arah z jika menggunakan beban lengkap, defleksi ke arah selain z mengalami perubahan, yaitu kenaikan defleksi ke arah y dan penurunan ke arah x, hal ini diakibatkan karena pemberian beban inersia. Tetapi untuk defleksi total, selalu mengalami tren menaik, dilihat dari acuan jika laser carrier hanya dibebani beban vertikal. Pada **gambar 4.14** bisa dilihat kalau defleksi terjadi pada laser carrier meskipun hanya dikenai beban vertikal.



Gambar 4.14 defleksi pada laser carrier ketika dibebani beban vertikal

Untuk analisa defleksi pada laser carrier saat mengalami perlambatan bisa dilihat hasilnya pada **gambar 4.15** dimana terbagi 2 yaitu dapat dikenai beban inersia saja dan beban

gabungan antara beban vertikal dan beban inersia saat perlambatan.



Gambar 4.15 data defleksi hasil simulasi pada *Probe 1* saat mengalami perlambatan

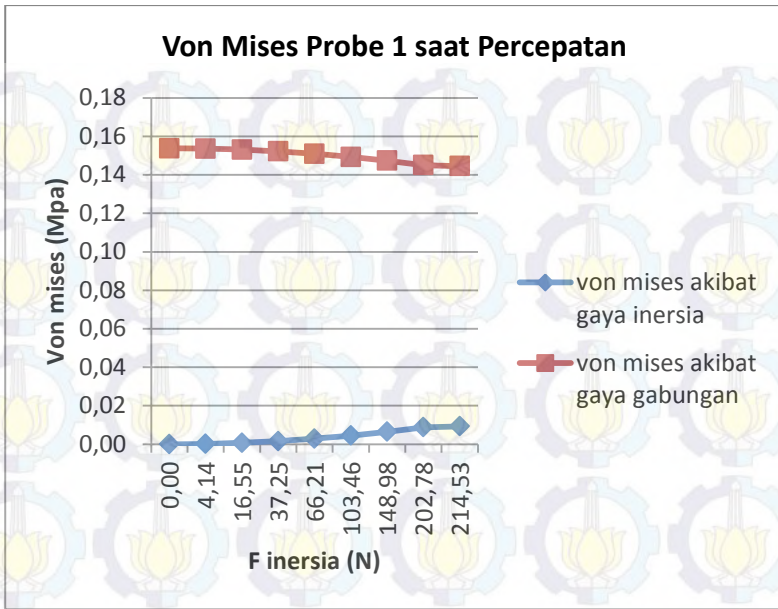
Pada defleksi kearah z terlihat bahwa tren defleksi selalu naik, begitu juga pada defleksi total. Defleksi terbesar kearah z jika hanya dikenai gaya inersia sebesar $171,1700\text{E-}05$ mm dan terkecil sebesar $3,3032\text{E-}05$ mm. serta defleksi total terbesar sebesar $185,9700\text{E-}05$ mm dan terkecil sebesar $3,5889\text{E-}05$ mm. Tren tersebut sudah sejalan dengan teori defleksi dimana defleksi akan semakin besar jika gaya yang diberikan semakin besar juga.

Untuk defleksi pada laser carrier jika dibebani beban gabungan, mengalami tren yang menurun, karena arah gaya yang berlawanan dengan arah defleksi ketika laser carrier hanya diberi beban gaya berat. Hal ini juga disebabkan oleh gaya inersia yang terlalu kecil jika dibandingkan dengan gaya beratnya. Jika dilihat

dari **gambar 4.14**, defleksi yang terjadi ke arah z (-) dimana arah defleksi ke arah belakang, dan jika diberi gaya inersia, maka defleksi akan mengarah ke arah z (+). Tetapi jika dilihat, perbedaan defleksi terlalu kecil, hal ini diakibatkan karena gaya inersia yang terlalu kecil. Dengan defomasi ke arah z terbesar -9,3584E-03 mm dan terkecil -11,0370E-03 mm. serta defleksi total terbesar sebesar 18,7250E-03 mm dan terkecil sebesar 17,1850E-03 mm. Defleksi yang terjadi masih terbilang aman karena parameter maksimal yang ditentukan adalah sebesar 25,4 μm atau 0,0254 mm.

IV.8.1.2. Analisa Kekuatan Probe 1

Pada analisa kekuatan, bisa dilihat hasil simulasi pada **gambar 4.16** saat mengalami percepatan dan **gambar 4.18** saat mengalami perlambatan. Dimana hasil tersebut dibagi 2 yaitu ketika diberi beban inersia saja dan diberi beban gabungan antara beban inersia dan beban vertikal.



Gambar 4.16 Grafik *von mises* hasil simulasi pada *Probe 1* saat mengalami percepatan

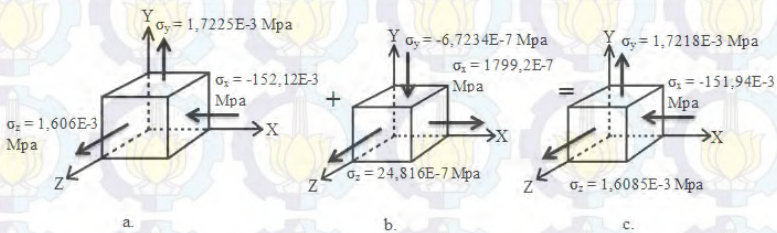
Pada analisa kekuatan dengan gaya inersia saja yang membebani laser carrier, terlihat tren naik. Dengan persamaan von mises:

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

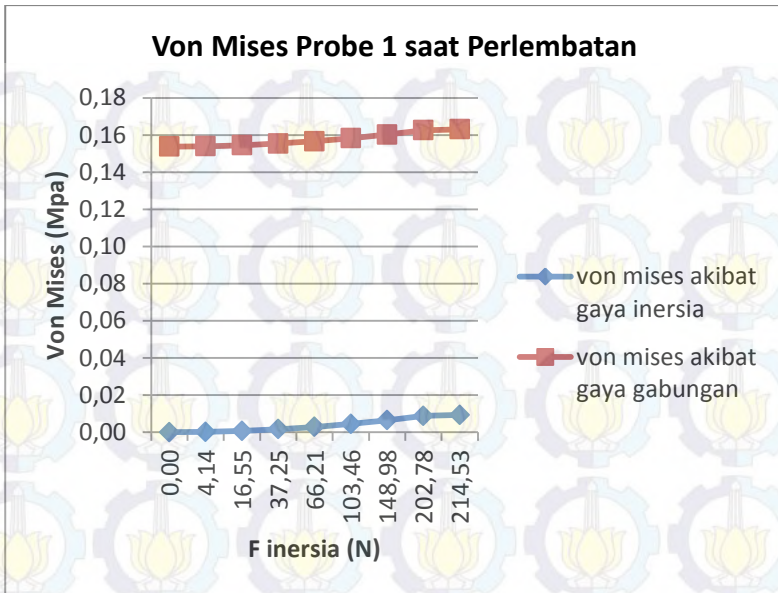
dengan *von mises* terbesar sebesar 92,7730E-04 Mpa dan terkecil sebesar 1,7903E-04 Mpa. Untuk *von mises* jika diberi beban gabungan mengalami tren menurun. Dimana *von mises* terbesar terlihat pada *laser carrier* jika hanya diberi beban vertikal saja dengan besar 0,15379 Mpa. Pada elemen terkecil dari *Probe 1* ini, terjadi beberapa perubahan arah gaya normal yang terjadi dan untuk gaya geser perbedaannya terlalu kecil untuk dievaluasi.

Gambar 4.17 a. adalah elemen terkecil *probe 1* saat dikenai gaya berat saja dimana terlihat arah gaya normal x terjadi gaya tekan

dan gaya normal z serta y terjadi gaya tarik, pada **gambar 4.17 b**. Dimana probe 1 hanya dikenai gaya inersia pada percepatan $0,01 \text{ m/s}^2$, gaya normal x dan z adalah gaya tarik serta gaya normal y adalah gaya tekan. Oleh karena itu, pada **gambar 4.17 c**. Dimana elemen dikenai gaya gabungan arah gaya sama dengan elemen yang hanya diberi gaya berat tetapi gaya normalnya menjadi kecil, karena dikurangi oleh gaya normal pada saat dikenai gaya inersia. Hal tersebut yang menjadikan tren von mises menurun. Dengan von mises terbesar senilai $0,15361 \text{ Mpa}$ dan terkecil $0,14451 \text{ Mpa}$. *Von mises* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15. *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material *Aluminium 6061 OT* dengan nilai 50 Mpa. jadi untuk struktur *laser carrier* ini tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa tegangannya saja, dan perlu analisa lanjutan untuk analisa dinamis yaitu analisa *fatigue*. Analisa *fatigue* ini dirasa perlu dikarenakan gerak dari *laser carrier* yang terus menerus tanpa berhenti jika sedang beroperasi.



Gambar 4.17 a. Elemen terkecil probe 1 saat dibebani gaya berat, b. Elemen terkecil probe 1 saat dibebani gaya inersia percepatan 0.01 m/s^2 , c. Elemen terkecil probe 1 saat dibebani gaya gabungan percepatan 0.01 m/s^2



Gambar 4.18 grafik *von mises* hasil simulasi pada *Probe 1* saat mengalami perlambatan

Pada analisa kekuatan saat mengalami perlambatan, tren yang terjadi semakin naik semua. Von mises pada laser carrier saat hanya gaya inersia yang bekerja, tren naik dengan von mises terbesar $92,7730\text{E-}04$ Mpa dan terkecil $1,7903\text{E-}04$ Mpa. Von mises pada laser carrier saat dibebani gaya gabungan, mengalami tren naik dengan von mises terbesar sebesar 0,16306 Mpa dan terkecil sebesar 0,15397 Mpa. *Von mises* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15. *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material *Aluminium 6061 OT* dengan nilai 50 Mpa. jadi untuk struktur *laser carrier* ini tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa tegangannya saja, dan perlu analisa lanjutan untuk analisa dinamis yaitu analisa *fatigue*. Analisa *fatigue* ini dirasa perlu

dikarenakan gerak dari *laser carrier* yang terus menerus tanpa berhenti jika sedang beroperasi.

IV.8.2. Analisa Data Probe 2

Hasil dari simulasi Probe 2 bisa dilihat pada **tabel 4.11** dan **tabel 4.12** berikut. Dimana data tersebut dibagi menjadi 2 yaitu saat mengalami percepatan dan saat mengalami perlambatan.

Tabel 4.11 data hasil simulasi pada *Probe 2* saat mengalami percepatan

Parameter				Gaya Inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von misses (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von misses
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,5525E-03	1,1612E-02	0,18387
10	0,17	0,01	4,14	-2,5856E-05	2,5861E-05	3,4388E-04	-7,5784E-03	1,1630E-02	0,18421
20	0,33	0,04	16,55	-10,3360E-05	10,3380E-05	13,7470E-04	-7,6559E-03	1,1681E-02	0,18524
30	0,50	0,10	37,25	-23,2640E-05	23,2680E-05	30,9410E-04	-7,7852E-03	1,1768E-02	0,18696
40	0,67	0,18	66,21	-41,3510E-05	41,3580E-05	54,9960E-04	-7,9660E-03	1,1891E-02	0,18937
50	0,83	0,28	103,46	-64,6150E-05	64,6260E-05	85,9370E-04	-8,1987E-03	1,2051E-02	0,19246
60	1,00	0,40	148,98	-93,0440E-05	93,0610E-05	123,7500E-04	-8,4830E-03	1,2250E-02	0,19624
70	1,17	0,54	202,78	-126,6400E-05	126,6700E-05	168,4400E-04	-8,8190E-03	1,2490E-02	0,20071
72	1,20	0,58	214,53	-133,9800E-05	134,0100E-05	178,2000E-04	-8,8923E-03	1,2543E-02	0,20169

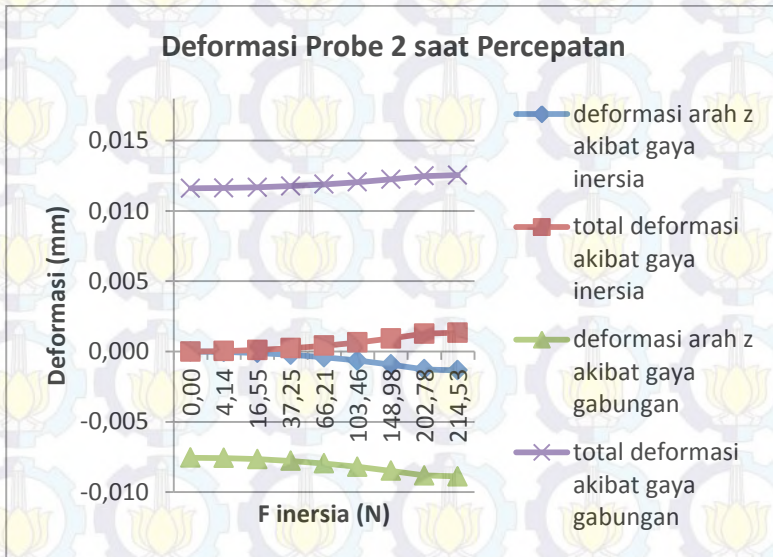
Tabel 4.12 data hasil simulasi pada *Probe 2* saat mengalami perlambatan

Parameter				Gaya Inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von misses (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von misses
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-7,5525E-03	11,6120E-03	0,18387
10	0,17	0,01	4,14	2,5856E-05	2,5861E-05	3,4388E-04	-7,5267E-03	11,5950E-03	0,18353
20	0,33	0,04	16,55	10,3360E-05	10,3380E-05	13,7470E-04	-7,4429E-03	11,5440E-03	0,18250
30	0,50	0,10	37,25	23,2640E-05	23,2680E-05	30,9410E-04	-7,3199E-03	11,4590E-03	0,18078
40	0,67	0,18	66,21	41,3510E-05	41,3580E-05	54,9960E-04	-7,1390E-03	11,3420E-03	0,17837
50	0,83	0,28	103,46	64,6150E-05	64,6260E-05	85,9370E-04	-6,9064E-03	11,1930E-03	0,17528
60	1,00	0,40	148,98	93,0440E-05	93,0610E-05	123,7500E-04	-6,6221E-03	11,0160E-03	0,17150
70	1,17	0,54	202,78	126,6400E-05	126,6700E-05	168,4400E-04	-6,2861E-03	10,8120E-03	0,16703
72	1,20	0,58	214,53	133,9800E-05	134,0100E-05	178,2000E-04	-6,2127E-03	10,7680E-03	0,16605

IV.8.2.1. Analisa Defleksi Probe 2

Pada analisa ini ada 2 parameter yaitu saat laser carrier mengalami percepatan dan mengalami perlambatan, dimana masing masing memiliki variasi yaitu dengan hanya gaya inersia

dan gaya - gaya yang melibatkan gaya berat serta gaya inersia. Seperti dilihat pada grafik berikut. **Gambar 4.19** menunjukkan deformasi pada probe 2 saat mengalami percepatan.



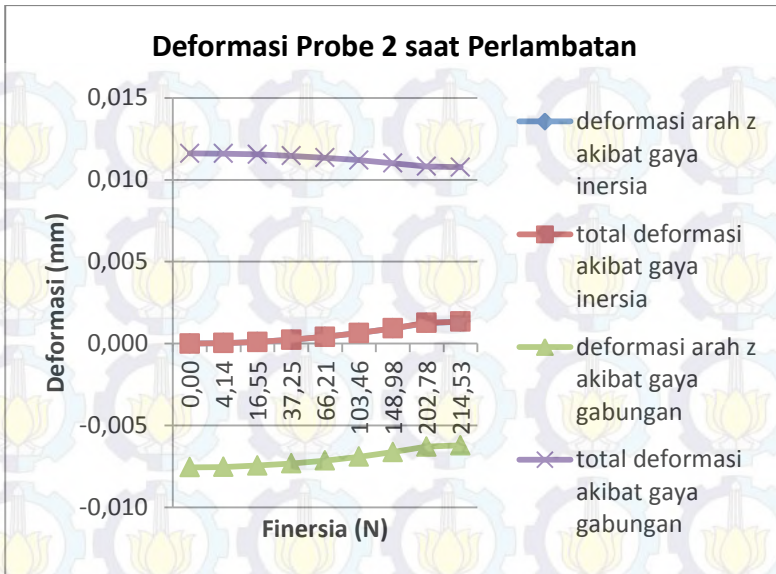
Gambar 4.19 grafik defleksi hasil simulasi pada *Probe 2* saat mengalami percepatan

Persamaan defleksi secara dasar ($\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$), dimana semakin besar gaya maka defleksi yang terjadi akan semakin besar juga, persamaan defleksi tersebut adalah dimana defleksi yang dicari adalah defleksi total. Dengan menggunakan analisa finite element dalam simulasi kali ini, maka akan didapat juga defleksi dalam berbagai sumbu. Sumbu x, y, dan z bisa didapat pada simulasi ini. Pada hasil tersebut, didapat defleksi kearah z terbesar jika hanya menggunakan gaya inersia adalah sebesar -133,98E-05 mm dimana tanda minus hanya sebagai penunjuk koordinat dan mengartikan bahwa defleksi menuju arah berlawanan dari arah percepatan. Dan defleksi terkecil kearah z

adalah $-2,5856\text{E-}05$ mm pada gaya inersia sebesar 4,14 N. Untuk defleksi total terbesar sebesar $134,01\text{E-}05$ mm dan terkecil sebesar $2,5861\text{E-}05$ mm.

Untuk defleksi pada beban inersia dan beban vertikal mengalami tren naik juga. Dimana defleksi terbesar ke arah z adalah $-8,8923\text{E-}03$ mm dan defleksi terkecil sebesar $-7,5784\text{E-}03$ mm. Untuk defleksi total terbesar $12,543\text{E-}03$ mm dan defleksi total terkecil sebesar $11,63\text{E-}03$ mm. Untuk defleksi arah z jika hanya menggunakan gaya berat sebesar $-7,5525\text{E-}03$ mm dan defleksi total sebesar $11,612\text{E-}03$ mm. Defleksi yang terjadi masih terbilang aman karena parameter maksimal yang ditentukan adalah sebesar $25,4\text{ }\mu\text{m}$ atau $0,0254$ mm. Seperti **gambar 4.14** bisa dilihat kalau defleksi terjadi pada laser carrier meskipun hanya dikenai beban vertikal.

Untuk analisa defleksi pada laser carrier saat mengalami perlambatan bisa dilihat hasilnya pada **gambar 4.20** dimana terbagi 2 yaitu saat dikenai beban inersia saja dan beban gabungan antara beban vertikal dan beban inersia saat perlambatan.



Gambar 4.20 grafik defleksi hasil simulasi pada *Probe 2* saat mengalami perlambatan

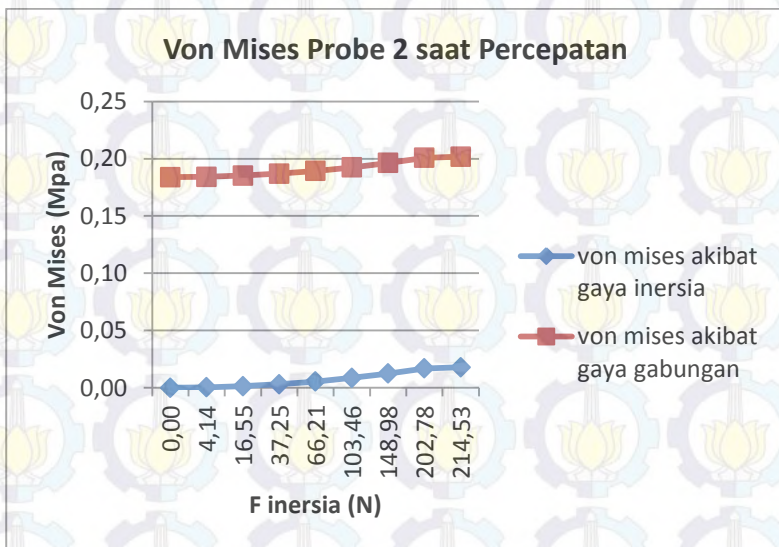
Pada defleksi kearah z terlihat bahwa tren defleksi selalu naik, begitu juga pada defleksi total. Defleksi terbesar kearah z jika hanya dikenai gaya inersia sebesar $133,98 \times 10^{-5}$ mm dan terkecil sebesar $2,5856 \times 10^{-5}$ mm. Serta defleksi total terbesar sebesar $134,01 \times 10^{-5}$ mm dan terkecil sebesar $2,5861 \times 10^{-5}$ mm. Tren tersebut sudah sejalan dengan teori defleksi dimana defleksi akan semakin besar jika gaya yang diberikan semakin besar juga.

Untuk defleksi pada laser carrier jika dibebani beban gabungan, mengalami tren yang menurun, karena arah gaya yang berlawanan dengan arah defleksi ketika laser carrier hanya diberi beban gaya berat. Hal ini juga disebabkan oleh gaya inersia yang terlalu kecil jika dibandingkan dengan gaya beratnya. Jika dilihat dari **gambar 4.14**, defleksi yang terjadi kearah z (-) dimana arah defleksi kearah belakang, dan jika diberi gaya inersia, maka defleksi akan mengarah ke arah z (+). Tetapi jika dilihat,

perbedaan defleksi terlalu kecil, hal ini diakibatkan karena gaya inersia yang terlalu kecil. Dengan defomasi kearah z terbesar - $6,2127\text{E-}03$ mm dan terkecil $-7,5267\text{E-}03$ mm. serta defleksi total terbesar sebesar $11,5950\text{E-}03$ mm dan terkecil sebesar $10,7680\text{E-}03$ mm. Defleksi yang terjadi masih terbilang aman karena parameter maksimal yang ditentukan adalah sebesar $25,4\text{ }\mu\text{m}$ atau $0,0254$ mm.

IV.8.2.2. Analisa Kekuatan Probe 2

Pada analisa kekuatan, bisa dilihat hasil simulasi pada **gambar 4.21** saat mengalami percepatan dan **gambar 4.22** saat mengalami perlambatan. Dimana hasil tersebut dibagi 2 yaitu ketika diberi beban inersia saja dan diberi beban gabungan antara beban inersia dan beban vertikal.

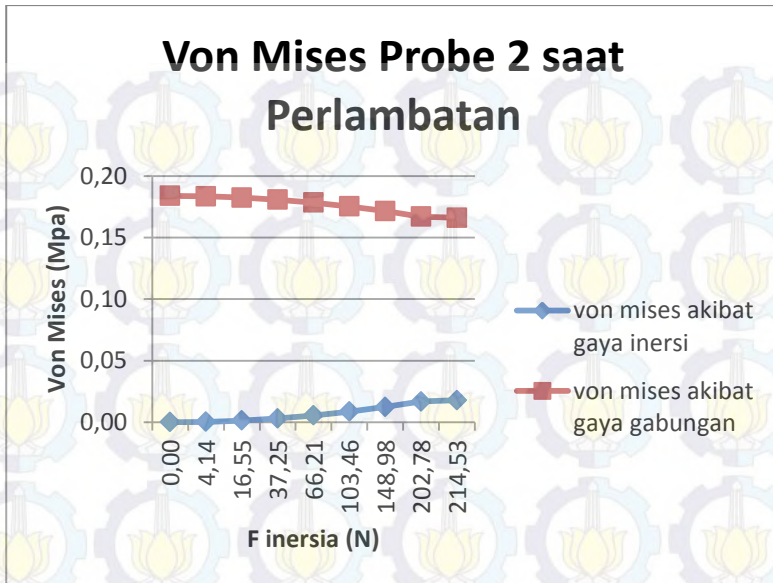


Gambar 4.21 grafik *von mises* hasil simulasi pada *Probe 2* saat mengalami percepatan

Pada analisa kekuatan dengan gaya inersia saja yang membebani laser carrier, terlihat tren naik. Dengan persamaan von mises:

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

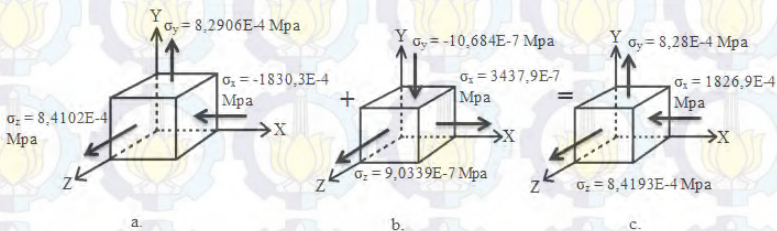
dengan von mises terbesar sebesar 178,2E-04 Mpa dan terkecil sebesar 3,4388E-04 Mpa. Untuk von mises jika diberi beban gabungan mengalami tren menaik juga. Dengan von mises terbesar sebesar 0,20169 Mpa dan terkecil sebesar 0,18421 Mpa. dan jika laser carrier hanya dibebani gaya berat maka von mises sebesar 0,18387 Mpa. Von mises yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15. *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material *Aluminium 6061 OT* dengan nilai 50 Mpa. jadi untuk struktur *laser carrier* ini tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa tegangannya saja, dan perlu analisa lanjutan untuk analisa dinamis yaitu analisa *fatigue*. Analisa *fatigue* ini dirasa perlu dikarenakan gerak dari *laser carrier* yang terus menerus tanpa berhenti jika sedang beroperasi.



Gambar 4.22 grafik *von mises* hasil simulasi pada *Probe 2* saat mengalami perlambatan

Pada analisa kekuatan saat mengalami perlambatan, tren yang terjadi semakin naik saat hanya diberi gaya inersia. Von mises pada laser carrier saat hanya gaya inersia yang bekerja, tren naik dengan von mises terbesar $178,2000\text{E-}04$ Mpa dan terkecil $3,4388\text{E-}04$ Mpa. Untuk von mises jika diberi beban gabungan mengalami tren menurun. Dimana von mises terbesar terlihat pada laser carrier jika hanya diberi beban vertikal saja dengan besar $0,18387$ Mpa. Pada elemen terkecil dari Probe 2 ini, terjadi beberapa perubahan arah gaya normal yang terjadi dan untuk gaya geser perbedaannya terlalu kecil untuk dievaluasi. **Gambar 4.23 a.** adalah elemen terkecil probe 2 saat dikenai gaya berat saja dimana terlihat arah gaya normal x terjadi gaya tekan dan gaya normal z serta y terjadi gaya tarik, pada **gambar 4.23 b.** Dimana probe 2 hanya dikenai gaya inersia pada perlambatan $0,01 \text{ m/s}^2$, gaya normal x dan z adalah gaya tarik serta gaya normal y adalah

gaya tekan. Oleh karena itu, pada **gambar 4.23 c**. Dimana elemen dikenai gaya gabungan arah gaya sama dengan elemen yang hanya diberi gaya berat tetapi gaya normalnya menjadi kecil, karena dikurangi oleh gaya normal pada saat dikenai gaya inersia. Hal tersebut yang menjadikan tren von mises menurun. Dengan von mises terbesar senilai 0,18353 Mpa dan terkecil 0,16605 Mpa. *Von mises* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15. *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material *Aluminium 6061 OT* dengan nilai 50 Mpa. jadi untuk struktur *laser carrier* ini tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa tegangannya saja, dan perlu analisa lanjutan untuk analisa dinamis yaitu analisa *fatigue*. Analisa *fatigue* ini dirasa perlu dikarenakan gerak dari *laser carrier* yang terus menerus tanpa berhenti jika sedang beroperasi.



Gambar 4.23 a. Elemen terkecil *probe 2* saat dibebani gaya berat, b. Elemen terkecil *probe 2* saat dibebani gaya inersia pada perlambatan 0.01 m/s^2 , c. Elemen terkecil *probe 2* saat dibebani gaya gabungan perlambatan 0.01 m/s^2

IV.8.3. Analisa Data Probe 3

Hasil dari simulasi Probe 3 bisa dilihat pada **tabel 4.13** dan **tabel 4.14** berikut. Dimana data tersebut dibagi menjadi 2 yaitu saat mengalami percepatan dan saat mengalami perlambatan.

Tabel 4.13 data hasil simulasi pada *Probe 3* saat mengalami percepatan

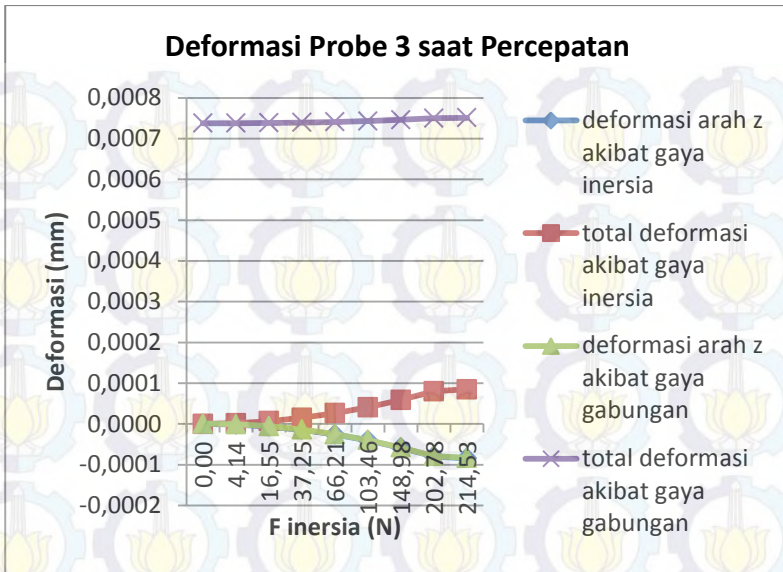
Parameter				Gaya inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0586E-07	7377,9E-07	0,4317
10	0,17	0,01	4,14	-1,6271E-06	1,6359E-06	6,2506E-04	-7,2123E-07	7379,6E-07	0,4318
20	0,33	0,04	16,55	-6,5044E-06	6,5397E-06	24,9870E-04	-55,9850E-07	7384,9E-07	0,4321
30	0,50	0,10	37,25	-14,6400E-06	14,7190E-06	56,2400E-04	-137,3400E-07	7394,4E-07	0,4326
40	0,67	0,18	66,21	-26,0220E-06	26,1630E-06	99,9640E-04	-251,1600E-07	7409,1E-07	0,4333
50	0,83	0,28	103,46	-40,6610E-06	40,8820E-06	156,2000E-04	-397,5500E-07	7430,7E-07	0,4343
60	1,00	0,40	148,98	-58,5510E-06	58,8690E-06	224,9300E-04	-576,4500E-07	7460,9E-07	0,4356
70	1,17	0,54	202,78	-79,6960E-06	80,1280E-06	306,1600E-04	-787,9000E-07	7502,1E-07	0,4372
72	1,20	0,58	214,53	-84,3130E-06	84,7710E-06	323,9000E-04	-834,0800E-07	7511,8E-07	0,4376

Tabel 4.14 data hasil simulasi pada *Probe 3* saat mengalami perlambatan

Parameter				Gaya inersia			Gaya Inersia dan Gaya Berat		
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises (Mpa)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	von mises
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	9,0586E-07	7377,9E-07	0,4317
10	0,17	0,01	4,14	1,6271E-06	1,6359E-06	6,2506E-04	25,3290E-07	7376,2E-07	0,4363
20	0,33	0,04	16,55	6,5044E-06	6,5397E-06	24,9870E-04	74,1020E-07	7371,5E-07	0,4314
30	0,50	0,10	37,25	14,6400E-06	14,7190E-06	56,2400E-04	155,4600E-07	7364,3E-07	0,4310
40	0,67	0,18	66,21	26,0220E-06	26,1630E-06	99,9640E-04	269,2700E-07	7355,8E-07	0,4304
50	0,83	0,28	103,46	40,6610E-06	40,8820E-06	156,2000E-04	415,6700E-07	7347,5E-07	0,4297
60	1,00	0,40	148,98	58,5510E-06	58,8690E-06	224,9300E-04	594,5700E-07	7341,3E-07	0,4290
70	1,17	0,54	202,78	79,6960E-06	80,1280E-06	306,1600E-04	806,0100E-07	7339,6E-07	0,4284
72	1,20	0,58	214,53	84,3130E-06	84,7710E-06	323,9000E-04	852,1900E-07	7340,1E-07	0,4282

IV.8.3.1. Analisa Defleksi Probe 3

Pada analisa ini ada 2 parameter yaitu saat laser carrier mengalami percepatan dan mengalami perlambatan, dimana masing masing memiliki variasi yaitu dengan hanya gaya inersia dan gaya - gaya yang melibatkan gaya berat serta gaya inersia. Seperti dilihat pada grafik berikut. **Gambar 4.24** menunjukkan deformasi pada probe 3 saat mengalami percepatan.

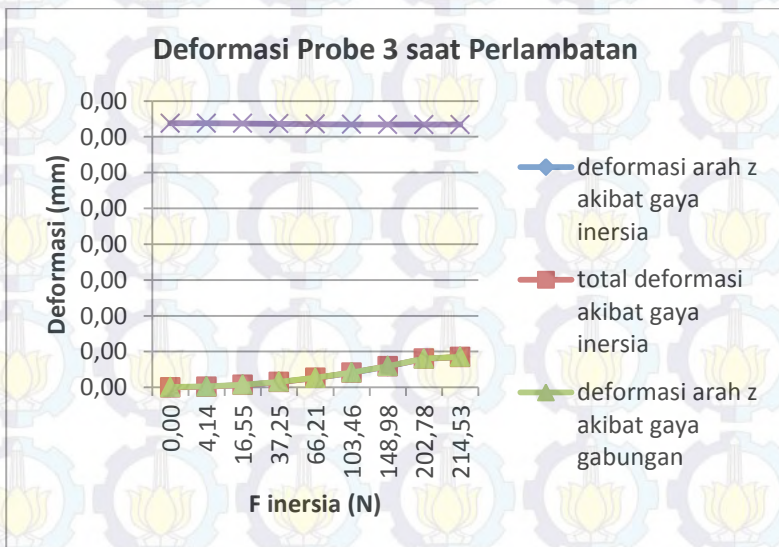


Gambar 4.24 grafik defleksi hasil simulasi pada *Probe 3* saat mengalami percepatan

Persamaan defleksi secara dasar ($\frac{d^2v}{dx^2} = \frac{M}{EI}$), dimana semakin besar gaya maka defleksi yang terjadi akan semakin besar juga, persamaan defleksi tersebut adalah dimana defleksi yang dicari adalah defleksi total. Dengan menggunakan analisa finite element dalam simulasi kali ini, maka akan didapat juga defleksi dalam berbagai sumbu. Sumbu x, y, dan z bisa didapat pada simulasi ini. Pada hasil tersebut, didapat defleksi kearah z terbesar jika hanya menggunakan gaya inersia adalah sebesar -84,313E-06 mm dimana tanda minus hanya sebagai penunjuk koordinat dan mengartikan bahwa defleksi menuju arah berlawanan dari arah percepatan. Dan defleksi terkecil kearah z adalah -1,6271E-06 mm pada gaya inersia sebesar 4,14 N. Untuk defleksi total terbesar sebesar 84,771E-06 mm dan terkecil sebesar 1,6359E-06 mm.

Untuk defleksi pada beban inersia dan beban vertikal mengalami tren naik juga. Dimana defleksi terbesar ke arah z adalah $-834,08E-07$ mm dan defleksi terkecil sebesar $-7,2123E-07$ mm. Untuk defleksi total terbesar $7511,8E-07$ mm dan defleksi total terkecil sebesar $7379,6E-07$ mm. untuk defleksi arah z jika hanya menggunakan gaya berat sebesar $9,0586E-07$ mm dan defleksi total sebesar $7377,9E-07$ mm. Sepeti **gambar 4.14** bisa dilihat kalau defleksi terjadi pada laser carrier meskipun hanya dikenai beban vertikal. Defleksi yang terjadi masih terbilang aman karena parameter maksimal yang ditentukan adalah sebesar $25,4 \mu\text{m}$ atau $0,0254$ mm

Untuk analisa defleksi pada laser carrier saat mengalami perlambatan bisa dilihat hasilnya pada **gambar 4.25** dimana terbagi 2 yaitu daat dikenai beban inersia saja dan beban gabungan antara beban vertikal dan beban inersia saat perlambatan.



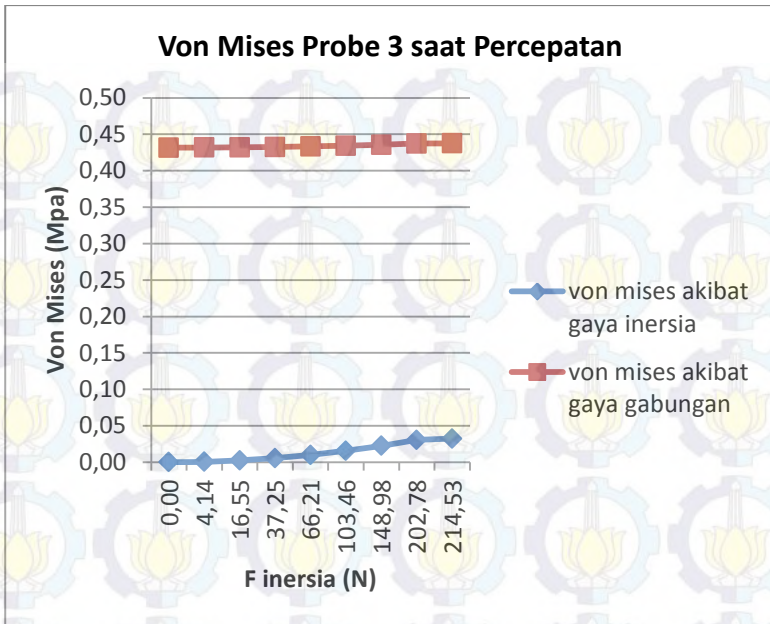
Gambar 4.25 grafik defleksi hasil simulasi pada *Probe 3* saat mengalami perlambatan

Pada defleksi kearah z terlihat bahwa tren defleksi selalu naik, begitu juga pada defleksi total. Defleksi terbesar kearah z jika hanya dikenai gaya inersia sebesar $84,313\text{E-}06$ mm dan terkecil sebesar $1,6271\text{E-}06$ mm. serta defleksi total terbesar sebesar $84,7710\text{E-}06$ mm dan terkecil sebesar $1,6359\text{E-}06$ mm. Tren tersebut sudah sejalan dengan teori defleksi dimana defleksi akan semakin besar jika gaya yang diberikan semakin besar juga.

Untuk defleksi total pada laser carrier jika dibebani beban gabungan, mengalami tren yang menurun, karena arah gaya yang berlawanan dengan arah defleksi ketika laser carrier hanya diberi beban gaya berat. Hal ini juga disebabkan oleh gaya inersia yang terlalu kecil jika dibandingkan dengan gaya beratnya. Tren menurun tersebut juga dipengaruhi oleh menurunnya defleksi pada sumbu yang lain. Dengan defleksi kearah z terbesar $852,19\text{E-}07$ mm dan terkecil $25,329\text{E-}07$ mm. serta defleksi total terbesar sebesar $7376,2\text{E-}07$ mm dan terkecil sebesar $7340,1\text{E-}07$ mm. Defleksi yang terjadi masih terbilang aman karena parameter maksimal yang ditentukan adalah sebesar $25,4\text{ }\mu\text{m}$ atau $0,0254$ mm.

IV.8.3.2. Analisa Kekuatan Probe 3

Pada analisa kekuatan, bisa dilihat hasil simulasi pada **gambar 4.26** saat mengalami percepatan dan **gambar 4.27** saat mengalami perlambatan. Dimana hasil tersebut dibagi 2 yaitu ketika diberi beban inersia saja dan diberi beban gabungan antara beban inersia dan beban vertikal.



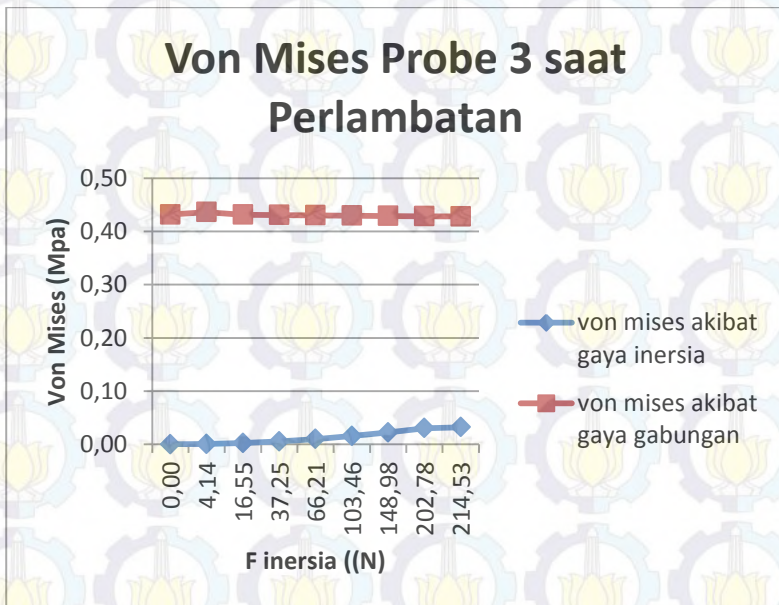
gambar 4.26 grafik *von mises* hasil simulasi pada *Probe 3* saat mengalami percepatan

Pada analisa kekuatan dengan gaya inersia saja yang membebani laser carrier, terlihat tren naik. Dengan persamaan von mises:

$$\sigma_{eqv} = \frac{1}{\sqrt{2}} \left[(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6 \cdot (\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) \right]^{1/2}$$

dengan von mises terbesar sebesar 323,9E-04 Mpa dan terkecil sebesar 6,2506E-04 Mpa. Untuk von mises jika diberi beban gabungan mengalami tren menaik juga. Dengan von mises terbesar sebesar 0,4376 Mpa dan terkecil sebesar 0,4318 Mpa. dan jika laser carrier hanya dibebani gaya berat maka von mises sebesar 0,4317 Mpa. *Von mises* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15. *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material *Aluminium 6061 OT* dengan nilai 50 Mpa.

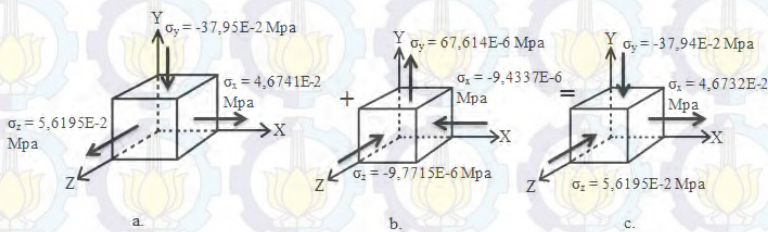
jadi untuk struktur *laser carrier* ini tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa tegangannya saja, dan perlu analisa lanjutan untuk analisa dinamis yaitu analisa *fatigue*. Analisa *fatigue* ini dirasa perlu dikarenakan gerak dari *laser carrier* yang terus menerus tanpa berhenti jika sedang beroperasi.



Gambar 4.27 grafik *von mises* hasil simulasi pada *Probe 3* saat mengalami perlambatan

Pada analisa kekuatan saat mengalami perlambatan, tren yang terjadi semakin naik saat hanya diberi gaya inersia. Von mises pada laser carrier saat hanya gaya inersia yang bekerja, tren naik dengan von mises terbesar 323,9E-04 Mpa dan terkecil 6,2506E-04 Mpa. Untuk von mises jika diberi beban gabungan mengalami tren menurun. Dimana von mises terbesar terlihat pada laser carrier jika hanya diberi beban vertikal saja dengan besar 0,4317 Mpa. Pada elemen terkecil dari Probe 3 ini, terjadi

beberapa perubahan arah gaya normal yang terjadi dan untuk gaya geser perbedaannya terlalu kecil untuk dievaluasi. **Gambar 4.28 a.** adalah elemen terkecil probe 3 saat dikenai gaya berat saja dimana terlihat arah gaya normal y terjadi gaya tekan dan gaya normal x serta z terjadi gaya tarik, pada **gambar 4.28 b.** Dimana probe 3 hanya dikenai gaya inersia pada perlambatan $0,01 \text{ m/s}^2$, gaya normal x dan z adalah gaya tekan serta gaya normal y adalah gaya tarik. Oleh karena itu, pada **gambar 4.28 c.** Dimana elemen dikenai gaya gabungan arah gaya sama dengan elemen yang hanya diberi gaya berat tetapi gaya normalnya menjadi kecil, karena dikurangi oleh gaya normal pada saat dikenai gaya inersia. Hal tersebut yang menjadikan tren von mises menurun. Dengan von mises terbesar senilai $0,4363 \text{ Mpa}$ dan terkecil $0,4282 \text{ Mpa}$. *Von mises* yang terjadi dirasa masih sangat aman karena memiliki *safety factor* yang besar yaitu 15. *Safety factor* ini didapat dari perbandingan *ultimate tensile strength* yang dimiliki oleh material *Aluminium 6061 OT* dengan nilai 50 Mpa. jadi untuk struktur *laser carrier* ini tidak akan mengalami kerusakan jika hanya dianalisa dengan analisa tegangannya saja, dan perlu analisa lanjutan untuk analisa dinamis yaitu analisa *fatigue*. Analisa *fatigue* ini dirasa perlu dikarenakan gerak dari *laser carrier* yang terus menerus tanpa berhenti jika sedang beroperasi.



Gambar 4.28 a. Elemen terkecil *probe 3* saat dibebani gaya berat, **b.** Elemen terkecil *probe 3* saat dibebani gaya inersia pada perlambatan 0.01 m/s^2 , **c.** Elemen terkecil *probe 3* saat dibebani gaya gabungan perlambatan 0.01 m/s^2

BAB V KESIMPULAN

V.1 Kesimpulan

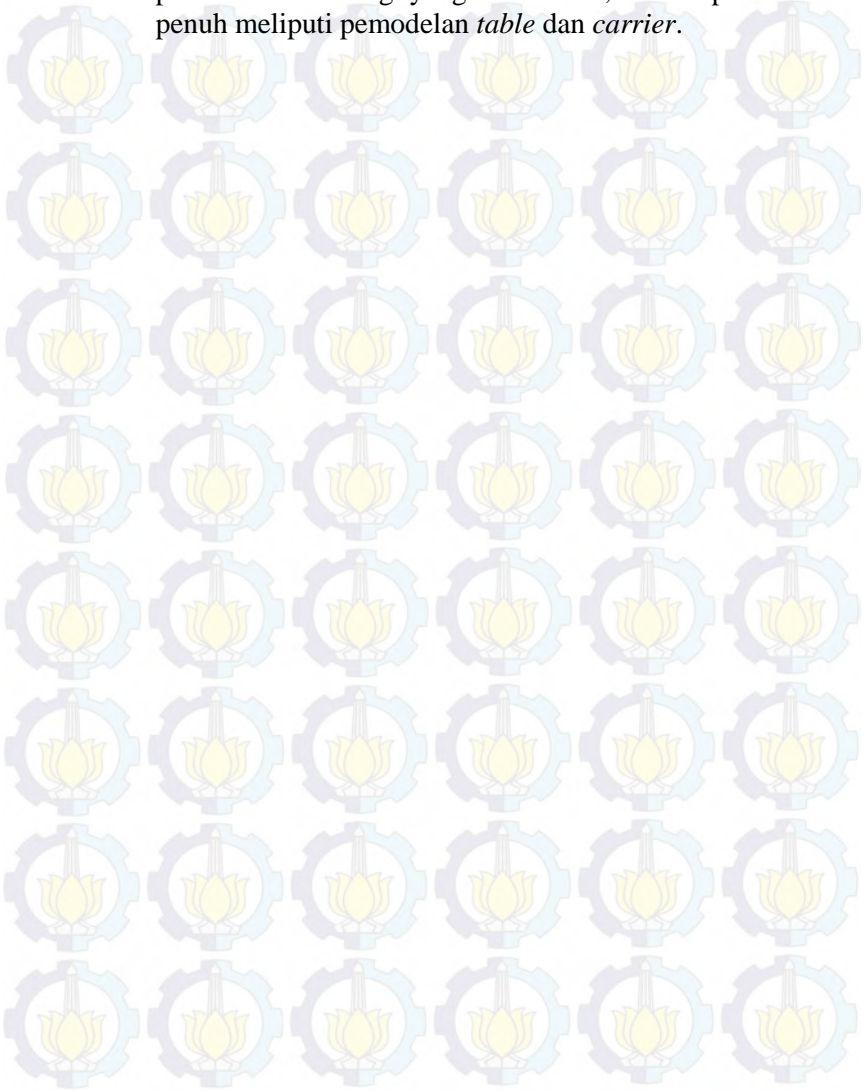
Dari hasil yang diperoleh, dapat disimpulkan:

1. Dari tiga Probe yang telah di analisa, Probe 2 dipilih untuk mewakilkan keakurasian *Laser carrier*, karena posisi *Laser Box* menempel ke *body* pada Probe 2. Analisa saat perlambatan pada Probe 2 yang akan menjadi nilai keakurasian pada *Laser carrier* tersebut. Hal ini disebabkan karena pada saat akan memulai memotong, *laser carrier* mengalami perlambatan. Tingkat keakurasian akibat defleksi masing – masing kecepatan bisa dilihat pada **table 4.12**. Tingkat keakurasian tertinggi dicapai pada perlambatan $0,01 \text{ m/s}^2$ dengan defleksi sebesar $7,5267 \mu\text{m}$. tingkat keaakurasian terendah dicapai pada perlambatan $0,58 \text{ m/s}^2$ dengan defleksi sebesar $6,2127 \mu\text{m}$.
2. Kekuatan dari *Laser carrier* bisa diambil dari Probe 3 karena posisi Probe 3 yang dekat dengan tumpuan dan memiliki hasil *von mises* yang paling besar. Nilai *von mises* terbesar bisa didapat pada saat *Laser carrier* mengalami percepatan, seperti yang ditunjukkan pada **tabel 4.13**. Nilai *von mises* tertinggi dicapai pada percepatan $0,58 \text{ m/s}^2$ dengan nilai sebesar $0,4376 \text{ Mpa}$. dengan hasil *von mises* tersebut, *laser carrier* tersebut bisa dikatakan aman, dengan *safety factor* sebesar 15. Hal ini dikarenakan beban yang masih terbilang kecil.

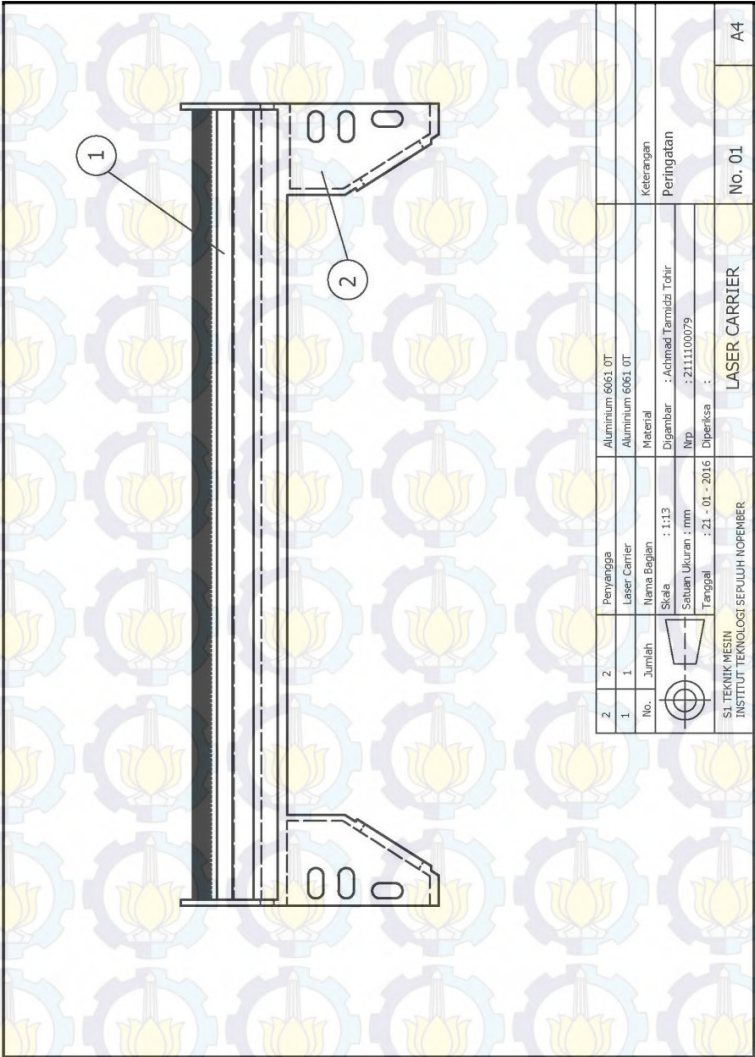
V.2 Saran

1. Pemodelan dari mesin *Fiber Laser Cutting* untuk mencari nilai parameter keakurasian kedepannya harus menggunakan pemodelan penuh. Pemodelan penuh ini

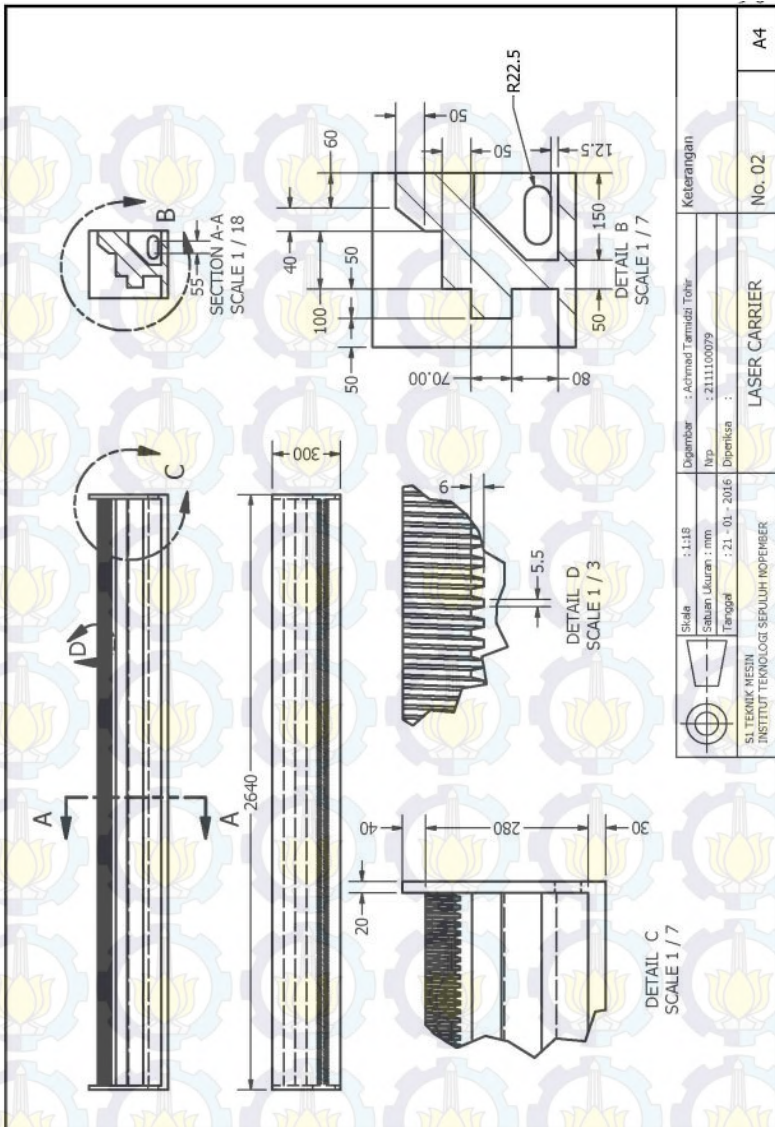
untuk mencari nilai parameter yang lebih akurasi dari parameter sekarang yang bernilai 1,5 mm. pemodelan penuh meliputi pemodelan *table* dan *carrier*.



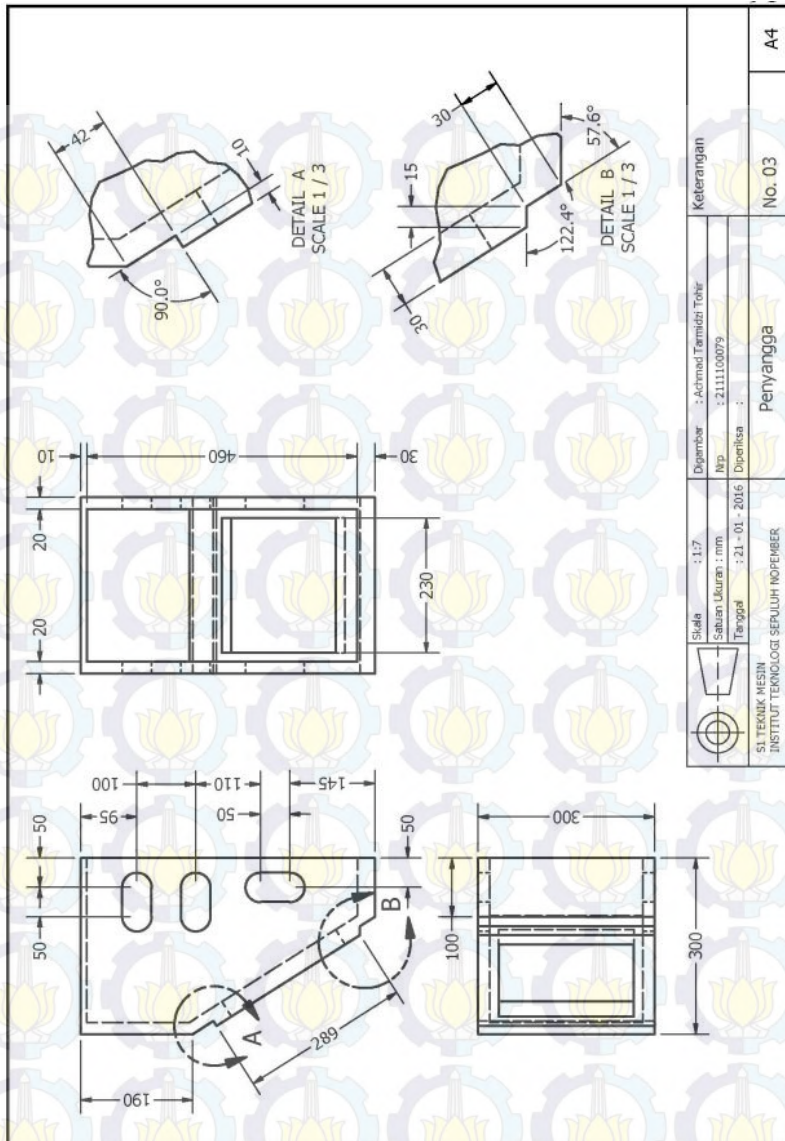
LAMPIRAN



Gambar 1. Gambar teknik *laser carrier*



Gambar 2. Gambar teknik bagian 1 *laser carrier*



Gambar 3. Gambar teknik bagian 2 penyangga *laser carrier*

Tabel 1 Data hasil simulasi *Laser Carrier* mengalami percepatan pada *Probe 1* tanpa beban vertikal

Percepatan, tanpa gaya berat. PROBE 1														
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00	-3,179E-09	-1,4032E-05	-3,3032E-05	3,5889E-05	1799,2E-07	-6,7234E-07	24,8160E-07	-0,00000012458	-0,00000038580	0,00000005420	1,7903E-04
10	0,17	0,01	4,14	-12,710E-09	-5,6096E-05	-13,2050E-05	14,3470E-05	7192,3E-07	-26,8770E-07	99,2030E-07	-0,00000049801	-0,00000154230	0,00000021667	7,1570E-04
20	0,33	0,04	16,55	-28,607E-09	-12,6260E-05	-29,7210E-05	32,2910E-05	16188,0E-07	-60,4950E-07	223,2800E-07	-0,00000112090	-0,00000347120	0,00000048767	16,1090E-04
30	0,50	0,10	37,25	-50,847E-09	-22,4420E-05	-52,8270E-05	57,3960E-05	28774,0E-07	-107,5300E-07	396,8700E-07	-0,00000199230	-0,00000616990	0,00000086682	28,6320E-04
40	0,67	0,18	66,21	-79,453E-09	-35,0670E-05	-82,5480E-05	89,6880E-05	44962,0E-07	-168,0200E-07	620,1500E-07	-0,00000311320	-0,00000964120	0,00000135450	44,7410E-04
50	0,83	0,28	103,46	-114,410E-09	-50,4960E-05	-118,8700E-05	129,1500E-05	64744,0E-07	-241,9500E-07	893,0000E-07	-0,00000448300	-0,00001388300	0,00000195040	64,4260E-04
60	1,00	0,40	148,98	-155,730E-09	-68,7320E-05	-161,7900E-05	175,7900E-05	88124,0E-07	-329,3200E-07	1215,5000E-07	-0,00000610190	-0,00001889700	0,00000265480	87,6920E-04
70	1,17	0,54	202,78	-164,750E-09	-72,7140E-05	-171,1700E-05	185,9700E-05	93231,0E-07	-348,4000E-07	1285,9000E-07	-0,00000645550	-0,00001999100	0,00000280860	92,7730E-04
72	1,20	0,58	214,53											

Tabel 2 Data hasil simulasi *Laser Carrier* mengalami percepatan pada *Probe 1* dengan beban vertikal

Percepatan, dengan gaya berat. PROBE 1														
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00	0,00000101230	-0,015141	-0,011070	0,018756	-152,12E-03	1,7225E-03	1,6060E-03	-0,00021518	0,00006970	0,00006622	0,15379
10	0,17	0,01	4,14	0,00000100910	-0,015155	-0,011103	0,018787	-151,94E-03	1,7218E-03	1,6085E-03	-0,00021531	0,00006932	0,00006627	0,15361
20	0,33	0,04	16,55	0,00000099957	-0,015197	-0,011202	0,018880	-151,40E-03	1,7198E-03	1,6160E-03	-0,00021568	0,00006816	0,00006644	0,15307
30	0,50	0,10	37,25	0,00000098367	-0,015267	-0,011367	0,019034	-150,50E-03	1,7164E-03	1,6284E-03	-0,00021630	0,00006623	0,00006671	0,15218
40	0,67	0,18	66,21	0,00000096143	-0,015365	-0,011598	0,019251	-149,24E-03	1,7117E-03	1,6457E-03	-0,00021718	0,00006353	0,00006709	0,15092
50	0,83	0,28	103,46	0,00000093283	-0,015492	-0,011896	0,019532	-147,63E-03	1,7057E-03	1,6681E-03	-0,00021830	0,00006006	0,00006758	0,14931
60	1,00	0,40	148,98	0,00000089787	-0,015646	-0,012259	0,019876	-145,65E-03	1,6983E-03	1,6953E-03	-0,00021967	0,00005582	0,00006817	0,14735
70	1,17	0,54	202,78	0,00000085655	-0,015828	-0,012688	0,020286	-143,31E-03	1,6895E-03	1,7276E-03	-0,00022128	0,00005081	0,00006888	0,14502
72	1,20	0,58	214,53	0,00000084753	-0,015868	-0,012782	0,020376	-142,80E-03	1,6876E-03	1,7346E-03	-0,00022164	0,00004971	0,00006903	0,14451

Tabel 3 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 1* tanpa beban vertikal

Perlambatan, tanpa gaya berat. PROBE 1														
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00											
10	0,17	0,01	4,14	3,179E-09	1,4032E-05	3,3032E-05	3,5889E-05	-0,00017992	0,0000006723	-0,0000024816	0,00000012458	0,00000038580	-0,00000005420	1,7903E-04
20	0,33	0,04	16,55	12,710E-09	5,6096E-05	13,2050E-05	14,3470E-05	-0,00071923	0,0000026877	-0,0000099203	0,00000049801	0,000000154230	-0,00000021667	7,1570E-04
30	0,50	0,10	37,25	28,607E-09	12,6260E-05	29,7210E-05	32,2910E-05	-0,00161880	0,0000060495	-0,0000223280	0,00000112090	0,000000347120	0,000000048767	16,1090E-04
40	0,67	0,18	66,21	50,847E-09	22,4420E-05	52,8270E-05	57,3960E-05	-0,00287740	0,0000107530	-0,0000396870	0,00000199230	0,000000616990	-0,00000086682	28,6320E-04
50	0,83	0,28	103,46	79,453E-09	35,0670E-05	82,5480E-05	89,6880E-05	-0,00449620	0,0000168020	-0,0000620150	0,00000311320	0,000000964120	-0,00000135450	44,7410E-04
60	1,00	0,40	148,98	114,410E-09	50,4960E-05	118,8700E-05	129,1500E-05	-0,00647440	0,0000241950	-0,0000893000	0,00000448300	0,000001388300	-0,00000195040	64,4260E-04
70	1,17	0,54	202,78	155,730E-09	68,7320E-05	161,7900E-05	175,7900E-05	-0,00881240	0,0000329320	-0,0001215500	0,00000610190	0,00001889700	-0,00000265480	87,6920E-04
72	1,20	0,58	214,53	164,750E-09	72,7140E-05	171,1700E-05	185,9700E-05	-0,00932310	0,0000348400	-0,0001285900	0,00000645550	0,00001999100	-0,00000280860	92,7730E-04

Tabel 4 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 1* dengan beban vertikal

Perlambatan, dengan gaya berat. PROBE 1														
vo m/min	vo m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00	0,00000101230	-0,015141	-0,011070	0,018756	-0,15212	0,0017225	0,0016060	-0,00021518	0,00006970	0,00006622	0,15379
10	0,17	0,01	4,14	0,00000101550	-0,015127	-0,011037	0,018725	-0,15230	0,0017231	0,0016036	-0,00021506	0,00007009	0,00006617	0,15397
20	0,33	0,04	16,55	0,00000102500	-0,015085	-0,010938	0,018633	-0,15284	0,0017251	0,0015961	-0,00021468	0,00007125	0,00006600	0,15450
30	0,50	0,10	37,25	0,00000104090	-0,015015	-0,010773	0,018480	-0,15374	0,0017285	0,0015837	-0,00021406	0,00007317	0,00006573	0,15540
40	0,67	0,18	66,21	0,00000106310	-0,014917	-0,010542	0,018266	-0,15500	0,0017332	0,0015664	-0,00021319	0,00007587	0,00006535	0,15665
50	0,83	0,28	103,46	0,00000109170	-0,014790	-0,010245	0,017992	-0,15662	0,0017393	0,0015440	-0,00021207	0,00007934	0,00006487	0,15826
60	1,00	0,40	148,98	0,00000112670	-0,014636	-0,009881	0,017659	-0,15860	0,0017467	0,0015167	-0,00021070	0,00008359	0,00006427	0,16023
70	1,17	0,54	202,78	0,00000116800	-0,014454	-0,009452	0,017270	-0,16093	0,0017554	0,0014845	-0,00020908	0,00008860	0,00006357	0,16256
72	1,20	0,58	214,53	0,00000117700	-0,014414	-0,009358	0,017185	-0,16145	0,0017573	0,0014775	-0,00020873	0,00008969	0,00006341	0,16306

Tabel 5 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Percepatan pada *Probe 2* tanpa beban vertikal

Percepatan, tanpa gaya berat. PROBE 2														
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00											
10	0,17	0,01	4,14	-3,408E-09	-4,858E-07	-2,5856E-05	2,5861E-05	-0,00034379	0,0000010684	-0,00000090339	-0,00000012875	-0,0000006920	-0,00000029852	3,4388E-04
20	0,33	0,04	16,55	-13,625E-09	-19,421E-07	-10,3360E-05	10,3380E-05	-0,00137430	0,0000042710	-0,00000361140	-0,00000051468	-0,0000027664	-0,00000119330	13,7470E-04
30	0,50	0,10	37,25	-30,666E-09	-43,711E-07	-23,2640E-05	23,2680E-05	-0,00309330	0,0000096130	-0,00000812830	-0,00000115840	-0,0000062265	-0,00000268590	30,9410E-04
40	0,67	0,18	66,21	-54,508E-09	-77,695E-07	-41,3510E-05	41,3580E-05	-0,00549820	0,0000170870	-0,00001444800	-0,00000205900	-0,0000110670	-0,00000477410	54,9960E-04
50	0,83	0,28	103,46	-85,174E-09	-121,410E-07	-64,6150E-05	64,6260E-05	-0,00859150	0,0000267000	-0,00002257600	-0,00000321740	-0,0000172940	-0,00000746000	85,9370E-04
60	1,00	0,40	148,98	-122,650E-09	-174,820E-07	-93,0440E-05	93,0610E-05	-0,01237200	0,0000384470	-0,00003250900	-0,00000463310	-0,0000249030	-0,00001074200	123,7500E-04
70	1,17	0,54	202,78	-166,940E-09	-237,950E-07	-126,6400E-05	126,6700E-05	-0,01683900	0,0000523310	-0,00004424900	-0,00003389600	-0,0000338960	-0,00001462100	168,4400E-04
72	1,20	0,58	214,53	-176,610E-09	-251,740E-07	-133,9800E-05	134,0100E-05	-0,01781500	0,0000553630	-0,00004681300	-0,00003671600	-0,0000358600	-0,00001546900	178,2000E-04

Tabel 6 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Percepatan pada *Probe 2* dengan beban vertikal

Percepatan, dengan gaya berat. PROBE 2														
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00	-0,00000038178	-0,0088207	-0,0075525	0,011612	-1830,3E-04	8,291E-04	8,410E-04	-0,00021573	-0,0007111	-0,00010526	0,18387
10	0,17	0,01	4,14	-0,00000038159	-0,0088212	-0,0075784	0,011630	-1833,7E-04	8,301E-04	8,401E-04	-0,00021586	-0,0007118	-0,00010556	0,18421
20	0,33	0,04	16,55	-0,00000039540	-0,0088227	-0,0076559	0,011681	-1844,0E-04	8,333E-04	8,374E-04	-0,00021625	-0,0007139	-0,00010646	0,18524
30	0,50	0,10	37,25	-0,00000041244	-0,0088251	-0,0077852	0,011768	-1861,2E-04	8,387E-04	8,329E-04	-0,00021689	-0,0007173	-0,00010795	0,18696
40	0,67	0,18	66,21	-0,00000043629	-0,0088285	-0,0079660	0,011891	-1885,3E-04	8,462E-04	8,266E-04	-0,00021779	-0,0007222	-0,00011004	0,18937
50	0,83	0,28	103,46	-0,00000046695	-0,0088329	-0,0081987	0,012051	-1916,2E-04	8,558E-04	8,185E-04	-0,00021895	-0,0007284	-0,00011272	0,19246
60	1,00	0,40	148,98	-0,00000050443	-0,0088382	-0,0084830	0,012250	-1954,0E-04	8,675E-04	8,085E-04	-0,00022036	-0,0007360	-0,00011601	0,19624
70	1,17	0,54	202,78	-0,00000054872	-0,0088445	-0,0088190	0,012490	-1998,7E-04	8,814E-04	7,968E-04	-0,00022204	-0,0007450	-0,00011989	0,20071
72	1,20	0,58	214,53	-0,00000055839	-0,0088459	-0,0088923	0,012543	-2008,5E-04	8,844E-04	7,942E-04	-0,00022240	-0,0007470	-0,00012073	0,20169

Tabel 7 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 2* tanpa beban vertikal

Perlambatan, tanpa gaya berat. PROBE 2														
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00											
10	0,17	0,01	4,14	3,408E-09	4,858E-07	2,5856E-05	2,5861E-05	3437,9E-07	-10,6840E-07	9,0339E-07	0,00000012875	0,0000006920	0,00000029852	3,4388E-04
20	0,33	0,04	16,55	13,625E-09	19,421E-07	10,3360E-05	10,3380E-05	13743,0E-07	-42,7100E-07	36,1140E-07	0,00000051468	0,0000027664	0,00000119330	13,7470E-04
30	0,50	0,10	37,25	30,666E-09	43,711E-07	23,2640E-05	23,2680E-05	30933,0E-07	-96,1300E-07	81,2830E-07	0,00000115840	0,0000062265	0,00000268590	30,9410E-04
40	0,67	0,18	66,21	54,508E-09	77,695E-07	41,3510E-05	41,3580E-05	54982,0E-07	-170,8700E-07	144,4800E-07	0,00000205900	0,0000110670	0,00000477410	54,9960E-04
50	0,83	0,28	103,46	85,174E-09	121,410E-07	64,6150E-05	64,6260E-05	85915,0E-07	-267,0000E-07	225,7600E-07	0,00000321740	0,0000172940	0,00000746000	85,9370E-04
60	1,00	0,40	148,98	122,650E-09	174,820E-07	93,0440E-05	93,0610E-05	123720,0E-07	-384,4700E-07	325,0900E-07	0,00000463310	0,0000249030	0,00001074200	123,7500E-04
70	1,17	0,54	202,78	166,940E-09	237,950E-07	126,6400E-05	126,6700E-05	168390,0E-07	-523,3100E-07	442,4900E-07	0,00003389600	0,0000338960	0,00001462100	168,4400E-04
72	1,20	0,58	214,53	176,610E-09	251,740E-07	133,9800E-05	134,0100E-05	178150,0E-07	-553,6300E-07	468,1300E-07	0,00003671600	0,0000358600	0,00001546900	178,2000E-04

Tabel 8 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 2* dengan beban vertikal

Perlambatan, dengan gaya berat. PROBE 2														
vo m/min	vo m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00	-0,00000038178	-0,0088207	-0,0075525	0,011612	-1830,3E-04	8,2906E-04	8,4102E-04	-0,00021573	-0,0007111	-0,00010526	0,18387
10	0,17	0,01	4,14	-0,00000037837	-0,0088202	-0,0075267	0,011595	-1826,9E-04	8,2800E-04	8,4193E-04	-0,00021560	-0,0007104	-0,00010497	0,18353
20	0,33	0,04	16,55	-0,00000036815	-0,0088188	-0,0074429	0,011544	-1816,6E-04	8,2479E-04	8,4463E-04	-0,00021522	-0,0007083	-0,00010407	0,18250
30	0,50	0,10	37,25	-0,00000035111	-0,0088164	-0,0073199	0,011459	-1799,4E-04	8,1945E-04	8,4915E-04	-0,00021457	-0,0007049	-0,00010258	0,18078
40	0,67	0,18	66,21	-0,00000032727	-0,0088130	-0,0071390	0,011342	-1775,3E-04	8,1198E-04	8,5547E-04	-0,00021367	-0,0007000	-0,00010049	0,17837
50	0,83	0,28	103,46	-0,00000029660	-0,0088086	-0,0069064	0,011193	-1744,4E-04	8,0236E-04	8,6360E-04	-0,00021251	-0,0006938	-0,00009780	0,17528
60	1,00	0,40	148,98	-0,00000025913	-0,0088033	-0,0066221	0,011016	-1706,6E-04	7,9062E-04	8,7353E-04	-0,00021110	-0,0006862	-0,00009452	0,17150
70	1,17	0,54	202,78	-0,00000021484	-0,0087969	-0,0062861	0,010812	-1661,9E-04	7,7673E-04	8,8527E-04	-0,00020943	-0,0006772	-0,00009064	0,16703
72	1,20	0,58	214,53	-0,00000020516	-0,0087956	-0,0062127	0,010768	-1652,2E-04	7,7370E-04	8,8784E-04	-0,00020906	-0,0006752	-0,00008980	0,16605

Tabel 9 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Percepatan pada *Probe 3* tanpa beban vertikal

Percepatan, tanpa gaya berat. PROBE 3														
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00											
10	0,17	0,01	4,14	-1,3446E-07	-1,0364E-07	-1,6271E-06	1,6359E-06	0,0000094337	-0,000067614	0,0000097715	0,0000056052	-0,00035807	0,0000009108	6,2506E-04
20	0,33	0,04	16,55	-5,3753E-07	-4,1431E-07	-6,5044E-06	6,5397E-06	0,0000377120	-0,0000270290	0,0000390620	0,0000224070	-0,00143140	0,0000036411	24,9870E-04
30	0,50	0,10	37,25	-12,0990E-07	-9,3251E-07	-14,6400E-06	14,7190E-06	0,0000848800	-0,0000608370	0,0000879200	0,0000504330	-0,00322170	0,0000081953	56,2400E-04
40	0,67	0,18	66,21	-21,5050E-07	-16,5750E-07	-26,0220E-06	26,1630E-06	0,0001508700	-0,001081300	0,0001562700	0,0000896430	-0,00572650	0,0000145670	99,9640E-04
50	0,83	0,28	103,46	-33,6030E-07	-25,9000E-07	-40,6610E-06	40,8820E-06	0,0002357500	-0,001689700	0,0002441900	0,0001400800	-0,00894820	0,0000227620	156,2000E-04
60	1,00	0,40	148,98	-48,3880E-07	-37,2950E-07	-58,5510E-06	58,8690E-06	0,0003394700	-0,002433100	0,0003516300	0,0002017100	-0,01288500	0,0000327770	224,9300E-04
70	1,17	0,54	202,78	-65,8620E-07	-50,7630E-07	-79,6960E-06	80,1280E-06	0,0004620700	-0,003311800	0,0004786100	0,0002745500	-0,01753800	0,0000446130	306,1600E-04
72	1,20	0,58	214,53	-69,6780E-07	-53,7050E-07	-84,3130E-06	84,7710E-06	0,0004888400	-0,003503700	0,0005063500	0,0002904600	-0,01855500	0,0000471980	323,9000E-04

Tabel 10 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Percepatan pada *Probe 3* dengan beban vertikal

Percepatan, dengan gaya berat. PROBE 3														
vt m/min	vt m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00	-0,00062903	-0,00038555	0,00000090586	0,00073779	0,04674	-0,37949	0,05620	0,013029	-0,005359	-0,0010042	0,4317
10	0,17	0,01	4,14	-0,00062917	-0,00038565	-0,00000072123	0,00073796	0,04675	-0,37956	0,05621	0,013035	-0,005718	-0,0010033	0,4318
20	0,33	0,04	16,55	-0,00062957	-0,00038597	-0,00000559850	0,00073849	0,04678	-0,37976	0,05623	0,013051	-0,006791	-0,0010005	0,4321
30	0,50	0,10	37,25	-0,00063024	-0,00038648	-0,00001373400	0,00073944	0,04683	-0,38010	0,05628	0,013080	-0,008581	-0,0009960	0,4326
40	0,67	0,18	66,21	-0,00063118	-0,00038721	-0,00002511600	0,00074091	0,04689	-0,38057	0,05635	0,013119	-0,011086	-0,0009896	0,4333
50	0,83	0,28	103,46	-0,00063239	-0,00038814	-0,00003975500	0,00074307	0,04698	-0,38118	0,05644	0,013169	-0,014308	-0,0009814	0,4343
60	1,00	0,40	148,98	-0,00063387	-0,00038928	-0,00005764500	0,00074609	0,04708	-0,38193	0,05655	0,013231	-0,018245	-0,0009714	0,4356
70	1,17	0,54	202,78	-0,00063562	-0,00039063	-0,00007879000	0,00075021	0,04720	-0,38280	0,05667	0,013304	-0,022898	-0,0009596	0,4372
72	1,20	0,58	214,53	-0,00063600	-0,00039092	-0,00008340800	0,00075118	0,04723	-0,38300	0,05670	0,013320	-0,023914	-0,0009570	0,4376

Tabel 11 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 3* tanpa beban vertikal

Perlambatan, tanpa gaya berat. PROBE 3														
v0 m/min	v0 m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00											
10	0,17	0,01	4,14	1,3446E-07	1,0364E-07	1,6271E-06	1,6359E-06	-9,4337E-06	67,614E-06	-9,7715E-06	-5,6052E-06	0,00035807	-0,0000009108	6,2506E-04
20	0,33	0,04	16,55	5,3753E-07	4,1431E-07	6,5044E-06	6,5397E-06	-37,7120E-06	270,290E-06	-39,0620E-06	-22,4070E-06	0,00143140	-0,0000036411	24,9870E-04
30	0,50	0,10	37,25	12,0990E-07	9,3251E-07	14,6400E-06	14,7190E-06	-84,8800E-06	608,370E-06	-87,9200E-06	-50,4330E-06	0,00322170	-0,0000081953	56,2400E-04
40	0,67	0,18	66,21	21,5050E-07	16,5750E-07	26,0220E-06	26,1630E-06	-150,8700E-06	1081,300E-06	-156,2700E-06	-89,6430E-06	0,00572650	-0,0000145670	99,9640E-04
50	0,83	0,28	103,46	33,6030E-07	25,9000E-07	40,6610E-06	40,8820E-06	-235,7500E-06	1689,700E-06	-244,1900E-06	-140,0800E-06	0,00894820	-0,0000227620	156,2000E-04
60	1,00	0,40	148,98	48,3880E-07	37,2950E-07	58,5510E-06	58,8690E-06	-339,4700E-06	2433,100E-06	-351,6300E-06	-201,7100E-06	0,01288500	-0,0000327770	224,9300E-04
70	1,17	0,54	202,78	65,8620E-07	50,7630E-07	79,6960E-06	80,1280E-06	-462,0700E-06	3311,800E-06	-478,6100E-06	-274,5500E-06	0,01753800	-0,0000446130	306,1600E-04
72	1,20	0,58	214,53	69,6780E-07	53,7050E-07	84,3130E-06	84,7710E-06	-488,8400E-06	3503,700E-06	-506,3500E-06	-290,4600E-06	0,01855500	-0,0000471980	323,9000E-04

Tabel 12 Data hasil Simulasi *Laser Carrier* mengalami Perlambatan pada *Probe 3* dengan beban vertikal

Perlambatan, dengan gaya berat. PROBE 3														
vo m/min	vo m/s	a m/s ²	F (N)	deformasi arah x (mm)	deformasi arah y (mm)	deformasi arah z (mm)	Total Deformasi	normal stress x	normal stress y	normal stress z	shear stress xy	shear stress yz	shear stress xz	von mises (Mpa)
0	0,00	0,00	0,00	-0,00062903	-0,00038555	0,00000090586	0,00073779	4,6741E-02	-37,95E-02	5,6195E-02	0,013029	-0,005359	-0,0010042	0,4317
10	0,17	0,01	4,14	-0,00062890	-0,00038545	0,00000253290	0,00073762	4,6732E-02	-37,94E-02	5,6185E-02	0,013023	-0,005001	-0,0010051	0,4363
20	0,33	0,04	16,55	-0,00062850	-0,00038514	0,00000741020	0,00073715	4,6703E-02	-37,92E-02	5,6156E-02	0,013007	-0,003928	-0,0010078	0,4314
30	0,50	0,10	37,25	-0,00062782	-0,00038462	0,00001554600	0,00073643	4,6656E-02	-37,88E-02	5,6107E-02	0,012979	-0,002138	-0,0010124	0,4310
40	0,67	0,18	66,21	-0,00062688	-0,00038389	0,00002692700	0,00073558	4,6590E-02	-37,84E-02	5,6039E-02	0,012939	-0,003667	-0,0010187	0,4304
50	0,83	0,28	103,46	-0,00062567	-0,00038296	0,00004156700	0,00073475	4,6505E-02	-37,78E-02	5,5951E-02	0,012889	-0,003589	-0,0010269	0,4297
60	1,00	0,40	148,98	-0,00062420	-0,00038182	0,00005945700	0,00073413	4,6402E-02	-37,71E-02	5,5843E-02	0,012827	-0,007526	-0,0010370	0,4290
70	1,17	0,54	202,78	-0,00062245	-0,00038047	0,00008060100	0,00073396	4,6279E-02	-37,62E-02	5,5716E-02	0,012755	-0,012179	-0,0010488	0,4284
72	1,20	0,58	214,53	-0,00062207	-0,00038018	0,00008521900	0,00073401	4,6252E-02	-37,60E-02	5,5689E-02	0,012739	-0,013195	-0,0010514	0,4282

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Modul 3 Pemotongan Plat, diakses tanggal 2 Oktober 2015. yusronsugiarto.lecture.ub.ac.id/files/2012/10/modul-3-Pemotongan-Plat.pdf
- [2] Wandera, C., Kujanpaa, V., Salminen, A. (2011). *Laser Power Requirement For Cutting of Thick-Section Steel And Effects of Processing Parameters on Mild Steel Cut Quality*. Lappeenranta, Finland. IMechE Part B, Journal of Engineering Manufacture, Volume 225.
- [3] Wisconsin Metal Parts Inc, 2014. Diakses tanggal 2 Oktober 2015. www.wisconsinmetalphysics.com/pdfs/ebook-new.pdf
- [4] Helen M. M., Maria M. S., Takdir T. (2013). *Pengukuran Daya Laser CO₂ dan Laser DPSS Serta Pengamatan Beam Profiler Sinar Laser DPSS dan Laser He-Ne Menggunakan CCD*. Tangerang Selatan 15314. Pusat Penelitian Fisika (P2F) Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI).
- [5] Wanda Saputra, dkk. Permesinan Non Konvensional. Diakses tanggal 2 Oktober 2015 wandasaputra93.wordpress.com Permesinan Non Konvensional
- [6] Berbagai Jenis Tipe Mesin Laser Cutting, Marking, Engraving. Diakses tanggal 2 Oktober 2015. www.deprintz.com/news/43/Berbagai-Jenis-Tipe-Mesin-Laser-Cutting-Marking-Engraving
- [7] R.C Hibbeler. 2010 *Mechanics of Material*, Prentice Hall.
- [8] Chapter II. Diakses tanggal 2 Oktober 2015. <http://repository.usu.ac.id/bitstream/123456789/20759/4/Chapter%20II.pdf>
- [9] Wikipedia. Gerak Lurus. Diakses tanggal 9 Oktober 2015. https://id.wikipedia.org/wiki/Gerak_lurus

- [10] Wikipedia. Hukum Gerak Newton. Diakses tanggal 9 Oktober 2015.
https://id.wikipedia.org/wiki/Hukum_gerak_Newton
- [11] Cook Robert, 1995. *Finite Element Modeling For Stress Analysis*. John Wiley and Sons.
- [12] Susatio, Yerri , Ir. MT.(2004). **Dasar-Dasar Metode Elemen Hingga**. Penerbit Andi, Yogyakarta.
- [13] Stelzer S., Mahrle A., Wetzig A., Beyer E. 2013. *Experimental Investigations on Fusion Cutting Stainless with Fiber and CO₂ Laser Beams*. Germany, Published by Elsevier B.V. Open access under CC BY-NC-ND License.
- [14] Laser. Diakses tanggal 3 November 2015.
<http://toekangengineer.blogspot.co.id/2014/06/laser.html>
- [15] Richard Vaughn. The Difference between Cartesian, Six-Axis, and SCARA Robots. Diakses tanggal 22 November 2015.
<http://machinedesign.com/motioncontrol/difference-between-cartesian-six-axis-and-scara-robots>.

BIOGRAFI PENULIS



achmad Tarmidzi Tphir dilahirkan di Desa Leces Kabupaten Probolinggo, Jawa Timur pada 30 Juli 1993 yang merupakan anak kedua dari 3 bersaudara.

Penulis telah menempuh pendidikan Sekolah Dasar di SD Taruna Dra. Zulaeha (1999-2005). Sekolah Menengah Pertama di SMP Taruna Dra. Zulaeha (2005-2008) Sekolah Menengah Atas di SMA Taruna Dra. Zulaeha (2008-2011). Setelah itu penulis melanjutkan pendidikan di jurusan Teknik

Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai mahasiswa S1 (2011-2016).

Selama 9 semester menempuh pendidikan di Teknik Mesin ITS penulis banyak mengikuti organisasi di dalam kampus. Pada Tahun 2012-2013 penulis mengikuti organisasi Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin sebagai staff divisi organisasi merangkap sebagai kepala biro organisasi, pada tahun 2013-2014 di organisasi yang sama penulis menjadi Kepala Divisi Organisasi dan pada tahun 2014-2015 penulis menjadi Sekretaris Lembaga Bengkel Mahasiswa Mesin. Selain itu juga pada tahun yang sama 2014-2015 penulis bergabung dalam ITS Team Sapuangan sebagai Kepala Divisi Chassis. Bersama ITS Team Sapuangan penulis mendapatkan beberapa prestasi dalam kejuaraan mobil irit baik tingkat nasional maupun internasional.